

## PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2002-217958

(43)Date of publication of application : 02.08.2002

(51)Int.Cl.

H04L 12/56

(21)Application number : 2001-015108

(71)Applicant : FUJITSU LTD

(22)Date of filing : 23.01.2001

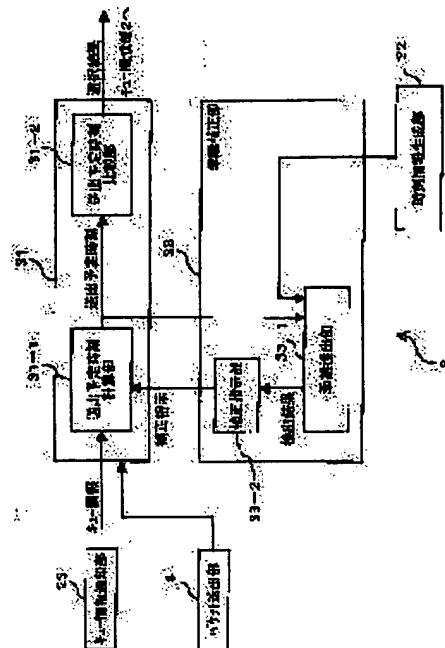
(72)Inventor : AMO KENSAKU  
TSURUOKA TETSUAKI

## (54) PACKET SCHEDULER

## (57)Abstract:

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To realize band assurance and fair surplus band distribution, while preventing malfunctions caused by deviation between a packet transmission scheduled time and an actual time which is caused by calculation error in WFQ calculation.

**SOLUTION:** A packet scheduler 3 controls packets, which waits to be transmitted by a plurality of queues to which a weighing factor is set based on an output assured band, and decides order to transmit top packets housed in queues. There are provided a queue control means 31 which selects/controls a queue, in which a packet to be transmitted with top priority is housed, based on a control information for packets waiting to be transmitted in queues and a transmission scheduled time information acquired by calculation using the weighing factor, and a correcting means 33 which corrects the process of the queue control means 31, based on a current time information.



## LEGAL STATUS

[Date of request for examination] 26.03.2004

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号  
特開2002-217958  
(P2002-217958A)

(43) 公開日 平成14年8月2日(2002.8.2)

(51) Int.Cl.  
H 0 4 L 12/56

識別記号  
2 0 0

F I  
H 0 4 L 12/56

テームト\* (参考)  
2 0 0 C 5 K 0 3 0

審査請求 未請求 請求項の数5 OL (全 30 頁)

(21) 出願番号 特願2001-15108(P2001-15108)

(22) 出願日 平成13年1月23日(2001.1.23)

(71) 出願人 000005223  
富士通株式会社  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号  
(72) 発明者 天羽 健策  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内  
(72) 発明者 鶴岡 哲明  
神奈川県川崎市中原区上小田中4丁目1番  
1号 富士通株式会社内  
(74) 代理人 100092978  
弁理士 真田 有

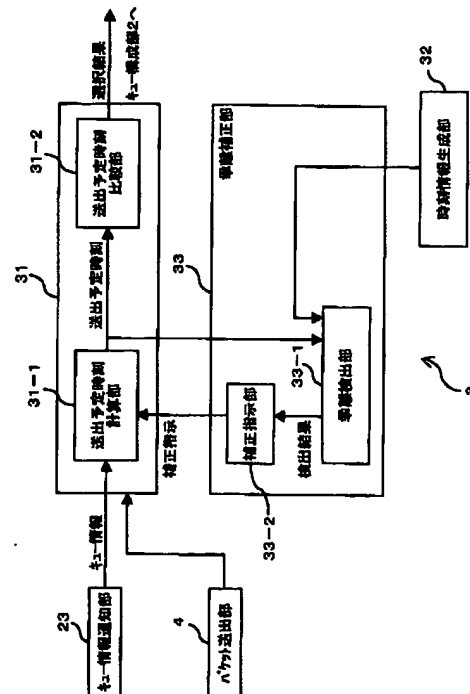
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 パケットスケジューラ

(57) 【要約】

【課題】 WFQ計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現する。

【解決手段】 出力保証帯域に基づく重み係数がそれぞれ設定された複数のキューにより送出待ちのパケットを管理するとともに、各キューに格納された先頭パケットの送出順序を決定するパケットスケジューラ3であって、各キューにおける送出待ちパケットの管理情報と前記重み係数とを用いた計算により得られた送出予定時刻情報に基づき、最優先に送出すべきパケットを格納するキューを選択制御するキュー制御手段31と、現在時刻情報に基づいて、キュー制御手段31における処理を補正する補正手段33とをそなえて構成する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 出力保証帯域に基づく重み係数がそれぞれ設定された複数のキューにより送出待ちのペケットを管理するとともに、各キューに格納された先頭ペケットの送出順序を決定するペケットスケジューラであって、各キューにおける送出待ちペケットの管理情報と前記重み係数とを用いた計算により得られた送出予定時刻情報に基づき、最優先に送出すべきペケットを格納するキューを選択制御するキュー制御手段と、

現在時刻情報に基づいて、該キュー制御手段における処理を補正する補正手段とをそなえて構成されたことを特徴とする、ペケットスケジューラ。

【請求項2】 該キュー制御手段が、バックログ状態の各キューにおける送出待ちペケットの管理情報と重み係数とを用いて前記バックログ状態の各キューに格納されたペケットの送出予定時刻を計算する送出予定時刻計算手段と、該送出予定時刻計算手段にて計算された各送出予定時刻情報に基づいてペケットを最優先に送出すべきキューを選択する選択手段とをそなえて構成されるとともに、

該補正手段が、該送出予定時刻計算手段による計算に前記現在時刻情報を反映させることにより、該選択手段における選択処理を補正すべく構成されたことを特徴とする、請求項1記載のペケットスケジューラ。

【請求項3】 該補正手段が、該キュー制御手段にて選択制御されたキューについて計算された前記の送出予定時刻情報と現在時刻情報との乖離量を検出する乖離量検出手段と、該乖離量検出手段にて検出された乖離量に基づいて該選択手段による選択処理を補正すべく指示する指示手段とをそなえて構成されたことを特徴とする、請求項2記載のペケットスケジューラ。

【請求項4】 該指示手段が、該乖離量検出手段にて検出された乖離量に基づいて、該選択手段による選択の基準となる各キューの送出予定時刻情報を補正すべく指示するように構成されたことを特徴とする、請求項3記載のペケットスケジューラ。

【請求項5】 各キューにおける送出待ちペケットの管理情報を前記現在時刻情報を含んで入力され前記の管理情報から現在時刻情報を取得する時刻情報取得手段をそなえ、該補正手段が、該時刻情報取得手段にて取得された現在時刻情報に基づいて、該キュー制御手段における処理を補正するように構成されたことを特徴とする、請求項1記載のペケットスケジューラ。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】 本発明は、ペケットスケジューラに関し、特に、いわゆるルータなどのペケット転送装置においてWFQ (Weighted Fair Queuing)を用いたペケットスケジューリングを行なう際に用いて好適な、ペケットスケジューラに関する。

## 【0002】

【従来の技術】 近年、ネットワークを利用するマルチメディア情報通信や、リアルタイムで通信を行なうアプリケーションの普及が進行している。このようなネットワークの利用態様の普及に伴って、ネットワークが提供する通信品質の保証の強化、向上が求められている。

【0003】 IP (Internet Protocol)や、ATM (Asynchronous Transfer Mode)などの技術は、上述のごときアプリケーションの普及を支えているものであるが、これらIPやATMにおけるネットワーク中継装置(ペケット転送装置)としてのルータにおいては、トラヒックに応じてペケットを複数のキューに分類し、要求された通信品質を保証しながら転送制御を行なうペケットスケジューリングが必要となる。

【0004】 また、ネットワークに要求される通信品質として、トラヒックに保証すべき帯域を予約する場合がある。このため、ペケット転送装置では、それぞれのトラヒックに対して帯域を予約し、その予約帯域を保証するようにペケットの送信を行なう必要がある。このようなペケット転送装置では、トラヒックごとに独立に、先入れ先出しメモリ (FIFO; First-In First-Out)方式のメモリ等で構成されるキューをそなえ、各トラヒックに予約された帯域を保証しつつ、各トラヒックのキューに保持されたペケットの送出順序を決定するペケットスケジューリング方式が必要となる。このようなペケットスケジューリング方式として、WFQ (Weighted Fair Queuing)によるアルゴリズムがよく知られている。WFQについては、例えばA. K. Parekh and R. G. Gallager, "A Generalized Processor Sharing Approach to Flow Control in Integrated Service Networks: The Single-Node Case", IEEE/ACM Trans. on Networking, vol. 1, pp. 344-357, June 1993に記載されている。

【0005】 図19は、上述のネットワーク上のペケット転送装置における従来のWFQアルゴリズムによるペケット転送技術を説明するための図であり、この図19において、101-1~101-nはキュー、102は各キュー101-1~101-nに保持されているペケットの送出順序を決定するペケットスケジューラである。

【0006】 この図19において、各トラヒック  $tr1 \sim trn$  のペケットはそれぞれのキュー101-1~101-nに格納され、各キュー101-1~101-nに保持されたペケットはFIFO方式で出力される。また、キュー101-i ( $i: 1 \sim n$ ) には予約帯域に比例した重み係数  $\phi_i$  が設定され、送信すべきペケットがキューに格納されているとき、そのキューはバックログ状態もしくはアクティブであると定義する。バックログ状態のキューの重みを合計したものを  $\phi_b$  とする。

【0007】 この図19に示すペケットスケジューラ102では、非アクティブ状態のキューの余剰帯域を公平

## 3

に配分することも考慮して、各キューの先頭パケット（最初に出力されるべきパケット）の送出予定時刻（例えばキュー101-iの値F'i）を以下の式（1）及び式（2）により計算し、得られた各キュー101-1～101-nの先頭パケットの送出予定時刻に基づいて、最優先で出力すべきパケットを保持するキューを選択するようになっている。

【0008】ここで、r iはキュー101-iのトラヒックt r iに予約された帯域に余剰帯域が配分された

$$r i = \phi i \times R / \phi b \quad \dots (1)$$

$$F i = \max \{ F' i, t i \} + L i / r i \quad \dots (2)$$

すなわち、図20に示すように、式（2）の第1項max {F' i, t i}は、直前に出力したキュー101-iの先頭パケットの送出予定時刻F' iと、その先頭パケットに続く同じキュー101-iのパケットの到着時刻t iとのうちで値の大きい（時刻の遅れた）方を計算基準として採ることを表すもので、第2項L i / r iは、予約帯域r iでパケット長L iのパケットを送出したときに要する転送時間を示すものである。

【0010】換言すれば、第1項max {F' i, t i}は、先頭パケットの送出予定時刻F iの計算基準となる時刻情報を、F' iまたはt iのいずれかに揃えることを意味している。例えば、直前のパケット出力後に次のパケットが当該キュー101-iに到着するという状況では、t iの方がF' iよりも遅れた時刻を刻むことになるので、t iの値を計算基準とする。逆に、図20に示すように、直前のパケットが出力される前に次のパケットが到着するという状況では、F' iの方がt iよりも遅れた時刻を刻むことになるので、F' iの値を計算基準とする。

【0011】前述したように、パケットスケジューラ102では、このようにして計算されたF iに基づいて、出力すべきパケットとして、最小のF iを持つアクティブ状態のキュー101-iを選択して、当該キュー101-iに対して先頭パケットの送出指示を行なう。なお、選出されたキュー101-iの先頭パケットの送出予定時刻F iは、F' iとして後続パケットのF i計算に用いられる。このように、パケットスケジューラ102では、パケット選出のたびにF iの値をインクリメント処理する。換言すれば、一つのパケットが選出されて

【0012】上述のごときWFQアルゴリズムを適用したパケット転送装置では、通常、上記式（1）及び式（2）の計算において用いられる各変数は有限のビット長で表現され、タイマなどで計測されるパケット到着時刻においても、有限のビット長で表現される値が用いられる。

【0013】

## 4

値、t iはキュー101-iに保持されている先頭パケットのキュー101-iへの到着時刻データ、L iは当該先頭パケットのパケット長、Rは出力リンクの速度、F' iはキュー101-iにおいて前回パケットを送出した際に計算された送出予定時刻データである。なお、全てのキューの予約帯域を保証するためには $R \geq \sum \phi i$ となる必要がある。

【0009】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、このような従来のWFQアルゴリズムにおいては、上述の送出予定時刻F iと実際の時刻（実時刻）とが一定値以上乖離した場合には、以下に示すような要因により、F iの計算値を示すビットデータが一定値以上になり、桁あふれ（オーバフロー）を起こす可能性がある。オーバフローした場合、上述の計算方式における大小比較（max {F' i, t i}、F iの最小値選択）を正確に行なうことができなくなるという課題がある。

【0014】また、ラップアラウンド方式で時刻を扱っていた場合でも、2<sup>(ビット長-1)</sup>以上値が異なる場合には、大小判定を正確に行なうことができないという課題がある。上記のような送出予定時刻F iと実時刻との乖離により、以下のような誤動作が発生する。すなわち、WFQアルゴリズムによる送出予定時刻F iが最小値のキューを選択するにあたり、オーバフローを起こしたキューのF iの値は他のキューに比べ極端に小さいことから、当該オーバフローを起こしたキューが優先的に

【0015】このため、他のキューの利用帯域を圧迫し、予約帯域を保証できないキューが発生する。また、送出予定時刻F iの比較が公平に行なわれないことから、余剰帯域の公平な割り当てが行なわれない。したがって、WFQが本来意図していたような、予約帯域の保証、公平な余剰帯域配分を行なうことができないという課題があるのである。

【0016】以下では、前述の式（2）に示すWFQ計算におけるオーバフロー要因である、送出予定時刻F iと実時刻の乖離について説明する。送出予定時刻F iと実時刻とが乖離する第1の要因として、WFQアルゴリズムによる送出予定時刻F iの計算に関して、ビット長の制限による丸め誤差などがある。例えば、式（2）の第2項において、予約帯域r iが逆数として用いられることから、除算による丸め誤差が発生する。

【0017】前述のように、F iの計算は前回送出パケットの送出予定時刻F' iの値から算出するため、ビット長の制限による丸め誤差がパケットを送出するたびに積算される。従って、送出予定時刻計算上のビット長の制限による丸め誤差は、実時刻からの乖離を引き起こす

## 5

要因となるのである。送出予定時刻  $F_i$  と実時刻とが乖離する第2の要因として、WFQアルゴリズムによる計算上の出力リンク速度  $R$  と実際の回線速度とが、主として以下に示す3つの要因により一致しないことである。

【0018】すなわち、出力リンク速度  $R$  と実際の回線速度とが一致しない第1の要因として、WFQアルゴリズムによる計算において用いられるパケット長の値には、IPレイヤやATMレイヤよりも下位のレイヤにて付加されるようなヘッダ長は計算に組み込まれていない場合があることが挙げられる。つまり、ネットワークで転送するパケットには、レイヤ毎にヘッダ（IPヘッダ、MACヘッダなど）、プリアンプルなどの識別情報が付加されており、これらのヘッダ情報を含めたデータ転送量から転送速度が求まる。一方、ネットワークのユーザが指定する予約帯域は、あるレイヤ以下のヘッダのデータ量を含まないデータ転送量である場合がある。

【0019】このため、WFQの計算上のパケット長としては、あるレイヤ以下のヘッダ長を含めない場合がある。このように、帯域指定時にパケット情報のどの部分までを含めるか、およびWFQ計算上で実パケットのどの部分までをパケット長  $L_i$  に含めるかにより、計算上のデータ転送量と実転送量の不一致が発生する。また、パケット転送装置内で必要に応じてヘッダの付加削除処理（転送メディア変換処理、EthernetのVLAN tag処理、IPv6のオプションヘッダ処理）などを行なう場合があり、このようなヘッダ付加削除処理を見越して予約帯域が示すレイヤでの実転送速度及びパケット長を計測することが考えられるが、これは処理負荷の増大を引き起こし、特にパケット転送の高速化を図る際には支障をきたす。このため、計算上の帯域と実効帯域とを完全に一致させることは困難である。

【0020】出力リンク速度  $R$  と実際の回線速度とが一致しない第2の要因としては、パケット転送装置の運用上、予約帯域を保証するために、WFQ計算上の  $R$  の値を実際の回線速度よりも小さく設定する場合があることにある。つまり、WFQの運用では、ネットワーク回線の混み具合により、実際の出力リンク速度が計算上の  $R$  の値よりも小さくなることが考えられる。この場合、実際の出力リンク速度が  $\Sigma \phi_i$  の値よりも小さくなれば、ネットワーク回線の輻輳などに起因したスループットの低下が発生し、予約帯域を保証できないキューが発生する。

【0021】そこで、上述のネットワーク回線の輻輳や計算誤差なども考慮し、 $R$  の値を、ネットワーク回線の混み具合によらずに（WFQ計算上の  $R$ ）＜（実際の最大転送速度）となるような安全値に設定する必要があるのである。さらに、出力リンク速度  $R$  と実際の回線速度とが一致しない第3の要因としては、同一回線上でWFQアルゴリズム以外のパケット転送アルゴリズムを帯域分割して併用している場合に、他の方式が利用されてい

## 6

る帯域から未使用帯域が発生したとき、WFQアルゴリズムが適用されるキューからは計算上の  $R$  の値よりも多くの帯域を利用した転送が行なわれることであり、この場合にも、出力リンク速度  $R$  と実際の回線速度とは一致しない。

【0022】ここで、上述した第2の要因によって、WFQアルゴリズムによる計算上の出力リンク速度  $R$  と実際の回線速度とが一致しないと、送出予定時刻  $F_i$  と実時刻が乖離することの具体例について、以下に説明する。まず、既にいくつかのパケットがキューに溜まっており、新たなパケットが連続的に到着している状況があると仮定する。この場合には、式（2）における計算上の第1項  $\max\{F'_i, t_i\}$  では  $F'_i$  の値が選択される。このとき、計算上の出力リンク速度  $R$  は、実際の回線速度（転送速度）よりも小さく設定されているものとする。

【0023】実際の回線速度が計算上の値  $R$  よりも速いため、図21（a）及び図21（b）に示すように、実際の回線速度の値が  $R$  である場合よりも多くのデータ量が送出可能となり、パケット送出（選択）回数も急速に増加する。従って、 $F_i$  の値は、パケット送出回数の増加に比例して急速に増加する。即ち、実際の転送速度が計算上の値  $R$  を上回る状態が続いた場合には、実際の時刻の経過に比し送出予定時刻  $F_i$  の値が急速に増加することになるのである。

【0024】実際の転送速度が計算上の値  $R$  を上回る状態が続いた場合には、このような  $F_i$  の急速な増加が継続するので、 $F_i$  に関するビット数の制限から析あふれを引き起こすことになる。オーバフローしたキューの  $F_i$  は、他のキューの  $F_i$  との比較において、極端に小さな値とみなされる。このような送出予定時刻  $F_i$  と実時刻との乖離により、以下のような誤動作が発生する。即ち、パケットスケジューラ102では、オーバフローを起こしたキューの  $F_i$  の値が他のキューに比べ極端に小さいことから、出力すべきパケットとして優先的に選択され続けることになる。

【0025】このため、他のキューの利用帯域を圧迫し、予約帯域を保証できないキューが発生する。また、送出予定時刻  $F_i$  の比較が公平に行なわれないことから、余剰帯域の公平な割り当てが行なわれない。したがって、WFQアルゴリズムが本来意図していたような、予約帯域の保証、公平な余剰帯域の配分を行なうことが困難となるのである。

【0026】本発明は、このような課題に鑑み創案されたもので、WFQ計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現できるようにした、パケットスケジューラを提供することを目的とする。

【0027】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明のバケットスケジューラ（請求項1）は、出力保証帯域に基づく重み係数がそれぞれ設定された複数のキューにより送出待ちのバケットを管理し且つ各キューに格納された先頭バケットの送出順序を決定するとともに、各キューにおける送出待ちバケットの管理情報と前記重み係数とを用いた計算により得られた送出予定時刻情報に基づき、最優先に送出すべきバケットを格納するキューを選択制御するキュー制御手段と、現在時刻情報に基づいて、該キュー制御手段における処理を補正する補正手段とをそなえて構成されたことを特徴としており、このような構成によって、出力保証帯域を保証したバケットスケジューリングを行なう際の誤動作を減少させている。

【0028】この場合においては、好ましくは、キュー制御手段を、バックログ状態の各キューにおける送出待ちバケットの管理情報と重み係数とを用いて前記バックログ状態の各キューに格納されたバケットの送出予定時刻を計算する送出予定時刻計算手段と、送出予定時刻計算手段にて計算された各送出予定時刻情報に基づいてバケットを最優先に送出すべきキューを選択する選択手段とをそなえて構成するとともに、補正手段を、送出予定時刻計算手段による計算に前記現在時刻情報を反映させることにより、該キュー制御手段における選択処理を補正すべく構成することができる（請求項2）。

【0029】さらに、補正手段を、該選択手段にて選択制御されたキューについて計算された前記の送出予定時刻情報と現在時刻情報との乖離量を検出する乖離量検出手段と、該乖離量検出手段にて検出された乖離量に基づいて該選択手段による選択処理を補正すべく指示する指示手段とをそなえて構成することもでき（請求項3）、さらに、指示手段を、乖離量検出手段にて検出された乖離量に基づいて、該選択手段による選択の基準となる各キューの送出予定時刻情報を補正すべく指示するように構成してもよい（請求項4）。

【0030】また、上述の請求項1記載の本発明においては、各キューにおける送出待ちバケットの管理情報を前記現在時刻情報を含んで入力され前記の管理情報から現在時刻情報を取得する時刻情報取得手段をそなえ、補正手段を、時刻情報取得手段にて取得された現在時刻情報に基づいて、該キュー制御手段における処理を補正するように構成してもよい（請求項5）。

【0031】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して本発明の実施の形態を説明する。

（a1）第1実施形態の説明

図1は本発明の第1実施形態にかかるバケットスケジューラを示すブロック図であり、この図1に示すバケットスケジューラは、図2に示すバケット転送装置に適用しうるものである。ここで、図2に示すバケット転送装置

は、バケット受信部1、キュー構成部2、バケットスケジューラ3及びバケット送出部4をそなえて構成され、例えば図示しないIP (Internet Protocol) ネットワークや、ATM (Asynchronous Transfer Mode) ネットワークにおけるルータとして用いることができる。

【0032】バケット受信部1は、ネットワークから受信したバケットの書き込みをキュー構成部2に要求するもので、キュー構成部2は、詳細には図3に示すように書き込み／読み出し制御部21、FIFOメモリ部22およびキュー情報通知23をそなえて構成される。また、FIFOメモリ部22は更に、トラヒックに応じて分別してバケットを格納するためのキュー22-1～22-nをそなえて構成されている。このキュー22-1～22-nについても、前述の図19に示すキュー102-1～102-nと同様に、また、キュー情報通知部23は、各キューの情報（バケットの有無、バケット到着時刻、先頭バケット長など）をバケットスケジューラ1に随時通知するものである。

【0033】さらに、書き込み／読み出し制御部21は、バケット受信部1からの受信バケットをトラヒックに応じたキュー22-i（i；1～nのいずれかの整数）に書き込み制御するとともに、バケットスケジューラ3から受けた読み出し指示に従って、指示に対応したキュー22-iの読み出し制御を行なうようになっている。また、バケットスケジューラ3は、IPバケットやATMバケットなどのバケットデータについて、WFQアルゴリズムによるバケットスケジューリングを行ないうるものである。具体的には、バックログ状態にあるキュー22-1～22-nのうちのいずれか一つのキューを選択し、選択したキューの先頭バケットの読み出しをキュー構成部2に要求するもので、詳細には後述の図1に示すように構成されている。

【0034】なお、上述のキュー22-1～22-nのうちで、WFQのアルゴリズムを適用しないキューを設定することもできる。この場合においては、当該キューについては後述するWFQアルゴリズムによるバケットスケジューリング処理の対象からは除外される。バケット送出部4は、ネットワーク回線の空き状態に応じて、キュー構成部3から読み出したバケットをネットワーク回線に送出するとともに、ネットワーク回線にバケットを送出可能な場合には次に出力すべきバケットの決定（バケットスケジューリング処理）をバケットスケジューラ3に要求するものである。

【0035】続いて、バケットスケジューラ3の詳細な構成について、図1を用いて以下に説明する。この図1に示すバケットスケジューラ3は、キュー選択制御部（キュー制御手段）31と乖離補正部（補正手段）33とをそなえて構成されている。キュー選択制御部31は、各キュー22-1～22-nにおける送出待ちバケットデータの管理情報と前記重み係数とを用いた計算により

得られた送出予定時刻情報に基づき、パケットデータを最優先に送出すべきキューを選択するもので、例えば図1に示す送出予定時刻計算部31-1と送出予定時刻比較部31-2とによりその機能を実現することができる。

【0036】ここで、送出予定時刻計算部（送出予定時刻計算手段）31-1は、前述の各キュー22-1～22-nにおける送出待ちパケットデータの管理情報と重み係数とを用いて各キューに格納されたパケットデータの送出順序を決定するための基準となる送出予定時刻を計算するもので、計算結果はビットデータとして送出予定時刻比較部31-2に出力されるようになっている。

【0037】具体的には、送出予定時刻計算部31-1は、上述の管理情報としての各キュー22-1～22-nの情報（送出待ちパケットの有無、パケット到着時刻データ、先頭パケット長データ等）をキュー情報通知部23から入力され、これらのデータとバックログ状態のキューのトラヒックに予約された帯域に比例した重み係数とに基づいて、前述の式(1)及び式(2)に示す計算を行なうものである。すなわち、送出予定時刻計算部31-1では、バックログ状態のキュー22-iのトラヒックに予約された帯域に比例する重み係数を $\phi_i$ 、先頭パケットのキュー22-iへの到着時刻データを $t_i$ 、先頭パケット長データを $L_i$ 、および全てのバックログ状態のキューにおける重み係数 $\phi_i$ の総和を $\phi_b$ として、上述の式(1)及び式(2)の計算を行ない、バックログ状態のキューについての各送出予定時刻 $F_i$ を算出できるようになっている。

【0038】なお、上述の各キュー22-1～22-nのトラヒックに予約された帯域に比例した重み係数 $\phi_i$ の値については、パケットスケジューラ3内部の図示しないメモリ機能により記憶しておき、必要に応じて設定を変更することも可能である。また、各キュー22-iについての前回送出予定時刻データ $F'_i$ の値についても、パケットスケジューラ3内部のメモリ機能に記憶しておき、送出予定時刻計算部31-1における今回の送出予定時刻計算の際には、前回送出予定時刻データ $F'_i$ の値を当該メモリ機能から呼び出すことができる。

【0039】さらに、送出予定時刻比較部（選択手段）

$$F_i \leq \text{Time} + k$$

上述の式(3)に示す $\text{Time}$ は、現在時刻情報としてのデータであって、 $k$ は、送信予定時刻データ $F_i$ と現在時刻データとの比較において乖離が許容される上限の値を示す許容値である。従って、送信予定時刻 $F_i$ が、この式(3)を満たす範囲内であれば、現在時刻データとの乖離は許容されるのである。

【0043】補正指示部33-2は、乖離検出部33-1にて検出された各乖離量に基づいて送出予定時刻比較部31-2による選択処理を補正すべく指示するものである。具体的には、乖離検出部33-1にて上述の式

31-2は、送出予定時刻計算部31-1からの計算結果を入力され、送出予定時刻計算部31-1にて計算された各送出予定時刻情報に基づいてパケットデータを最優先に送出すべきキューを選択するものである。具体的には、送出予定時刻計算部31-1にて計算されたバックログ状態のキューのバケットについての送出予定時刻データのうちで、最小の送出予定時刻データに対応するキューを、最優先にパケットデータを送出すべきキューとして選択し、選択したキューに付された（例えばビットデータで構成される）キュー番号を、選択結果としてキュー構成部2に通知するようになっている。

【0040】また、時刻情報生成部32は、例えばパケットスケジューラ3の外部に設けられ、現在時刻情報としてのカウントデータを生成するものであり、例えばパケット転送装置が有するクロック生成機能からのクロック信号に同期してカウントアップするようなカウントデータを生成するカウンタなどにより構成される。なお、この時刻情報生成部32としては、例えばパケットスケジューラ3内部において、クロック信号からカウントデータを生成するカウンタにより構成してもよい。

【0041】さらに、乖離補正部33は、現在時刻情報に基づいて、キュー選択制御部31における処理を補正するもので、例えば図1に示す乖離検出部（乖離量検出手段）33-1と補正指示部（指示手段）33-2とによりその機能を実現することができる。ここで、乖離検出部33-1は、送出予定時刻計算部31-1にて計算された各送出予定時刻情報と時刻情報生成部32からの現在時刻情報との乖離量をそれぞれ検出するものである。具体的には、送出予定時刻計算部31-1にて計算された各送出予定時刻データ $F_i$ の、時刻情報生成部32からの現在時刻データ $\text{Time}$ に乖離許容値 $k$ を加えた値（ $\text{Time} + k$ ）に対する大小比較を行なうもので、比較判定結果を補正指示部33-2に出力するようになっている。

【0042】すなわち、乖離検出部33-1では、バックログ状態のキュー22-iについてのデータ $F_i$ と現在時刻データとの比較結果を、以下に示す式(3)を満たすか否かの判定情報として比較判定結果について補正指示部33-2に出力するようになっている。

$$\dots (3)$$

(3)を満たさないキューがあると判定された場合（即ち $\text{Time} + k$ の値を超える $F_i$ の値を持つキュー22-iがあると判定された場合）には、当該 $F_i$ の値を $\text{Time} + k$ に書き換えるように、送出予定時刻計算部31-1に指示するようになっている。

【0044】換言すれば、補正指示部33-2では、送出予定時刻計算部31-1にて計算された送出予定時刻を補正指示して、次回に計算される $F_i$ が適正な値となるようにすることを通じて、送出予定時刻比較部31-2による選択処理を間接的に補正できるようになってい

る。上述の乖離補正部33による補正処理を通じて、 $F_i$ の計算値を示すビットデータが一定値以上になって桁あふれ(オーバフロー)を起こすことを防止し、後段の送出予定時刻比較部31-2における最小値選択処理の信頼度を常に適正に保っている。

【0045】なお、上述の時刻情報生成部32からの現在時刻情報は、現在時刻を判断するための一つの指標であって、比較対象のキュー22-iから現実にはパケットが送信される時刻とは乖離することが考えられる。しかしながら、送出予定時刻 $F_i$ との比較において、許容値としての $k$ を加算した値を用いることにより、そのような乖離を吸収するだけでなく、乖離検出部33-1では明らかにオーバフローの原因となるような $F_i$ の乖離幅のみを検出することができる。

【0046】上述の構成による、本発明の第1実施形態にかかるパケットスケジューラが適用されたパケット転送装置の動作について、以下に詳述する。まず、パケット転送装置のパケット受信部1では、ネットワークからパケットを受信するとともに、受信パケットについて更にネットワーク上に転送すべきパケットについての書き込み制御を、キュー構成部2の書き込み/読み出し制御部21に対して要求する。キュー構成部2の書き込み/読み出し制御部21では、パケットデータのFIFOメモリ部22への書き込みを制御する際、転送すべきパケットにおけるトラヒックの予約帯域に応じて書き込むべきキュー22-iを選択している。これにより、転送すべきパケットデータについては、トラヒックの予約帯域に応じたキュー22-iに保持される。

【0047】また、パケットスケジューラ3では、上述のキュー22-iに保持されているパケットデータの送出パケットとしての送出順序を、後述のWFQアルゴリズムによるパケットスケジューリング処理により決定している。パケット送出部4では、パケットスケジューラ3により送出順序が決定されたパケットについて、回線の空き状態に応じて転送パケットとしてネットワークへ送出する。

【0048】ここで、パケット送出部4では、ネットワークへのパケットの送出ができる状態となった場合に、パケットスケジューラ3に対してスケジューリングを要求する。パケットスケジューラ3では、パケット送出部4からの要求を受けると、図4のフローチャートに示すようなWFQアルゴリズムを適用したスケジューリング処理を行なって、最優先に送出すべきパケットを格納するキューを選択する。

【0049】まず、パケットスケジューラ3の送出予定時刻計算部31-1において、バックログ状態にある各キュー22-iについての送出予定時刻を、前述の式

(1)および式(2)を用いることにより計算している(ステップA1、ステップA2～ステップA5、ステップA7)。なお、図4中のステップA4、ステップA5

における変数tempは、前述の式(1)および式

(2)の計算過程において用いられる一時記憶用の補助変数である。

【0050】また、乖離補正部33の乖離検出部33-1では、送出予定時刻として計算されたキュー22-i( $i=1\sim n$ )ごとの送出予定時刻 $F_i$ について(ステップA5)、前述の式(3)による現在時刻情報との比較を行なって、計算された送出予定時刻データが許容範囲を超えて現在時刻に乖離しているか否かを判定する(ステップA6)。この比較判定結果は、乖離検出部33-1から補正指示部33-2に通知される。

【0051】ここで、乖離検出部33-1では、送出予定時刻 $F_i$ の値が前述の式(3)を満たしていれば、計算された送出予定時刻 $F_i$ は許容範囲内にあると判定し、判定結果を補正指示部33-2に出力する。この場合は、補正指示部33-2では、送出予定時刻計算部31-1にて計算された $F_i$ の値を、後段の送出予定時刻比較部31-2の処理で用いる送出予定時刻データとしてそのまま出力する(ステップA6のYESルート)。

【0052】一方、乖離検出部33-1では、前述の式(3)を満たさないならば、計算された送出予定時刻 $F_i$ は許容範囲を超えて現在時刻に乖離していると判定し、判定結果を補正指示部33-2に通知する。補正指示部33-2では、乖離検出部33-1からの判定結果に基づいて、当該 $F_i$ の値を乖離許容範囲内の $Time+k$ に書き換えることで補正する(ステップA6のNORルートからステップA8)。

【0053】このような処理により、キュー22-1～22-nのうちで、バックログ状態にあるものについては、順次計算された送出予定時刻データが現在時刻データに基づいて許容値の範囲に収まるように補正され、後段の送出予定時刻比較部31-2に出力される(ステップA2のNORルートからステップA3～ステップA7)。

【0054】送出予定時刻比較部31-2は、送出予定時刻計算部31-1からの、バックログ状態の各キューについての必要な補正が施された送出予定時刻データを入力され、各送出予定時刻データのうちで最小値の送出予定時刻データを持つキューを選択する(ステップA9～ステップA13)。送出予定時刻比較部31-2では、最小値の送出予定時刻データ(例えばキュー22-iにおける $F_i$ )が選択されると、当該 $F_i$ の値をキュー22-iの前回送出予定時刻 $F'_i$ として次の送信予定時刻計算のために図示しないメモリ機能に記憶して(ステップA14)、キュー構成部2の書き込み/読み出し制御部21に対して、選択された $F_i$ に対応するキュー22-iの番号を通知する。これにより、書き込み/読み出し制御部21におけるキュー22-iの読み出し制御を指示している(ステップA15)。

【0055】このようにして、パケットスケジューラ3



によるスケジューリング処理により送出すべきパケットの読み出し指示が出力されると、選択されたキュー22-1の先頭パケットが読み出されて、パケット送出部4を通じて回線に出力される。このように、本発明の第1実施形態にかかるパケットスケジューラ3によれば、乖離補正部33により、現在時刻情報に基づきキュー選択制御部31における処理を補正することができるので、WFQ計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現できる利点がある。

【0056】また、乖離補正部33が、送出予定時刻計算部31-1による計算結果としての各送出予定時刻情報と現在時刻情報との乖離を許容範囲内に収める補正を行なうことを通じて送出予定時刻計算部31-1の計算に現在時刻情報を反映させることにより、送出予定時刻比較部31-2における選択処理を補正することで、WFQ計算上の演算誤差を確実に補正された値を用いて送出予定時刻比較部31-2における選択処理を行なうことができるので、送出予定時刻の計算値を示すビットデータを桁あふれ(オーバフロー)させることを防止して、送出予定時刻比較部31-2における選択処理の信頼度、ひいてはパケットスケジューラやパケット転送装置の性能ないし信頼度を向上させることができる利点がある。

【0057】(a2)第1実施形態の第1変形例の説明  
上述の第1実施形態においては、乖離補正部33の乖離検出部33-1において送出予定時刻データの現在時刻との乖離幅を判定するに際しては、時刻情報生成部32にて生成された現在時刻情報としてのカウントデータを用いているが、これに限定されず、例えば図5に示すパケットスケジューラ3-1のように、キュー情報通知部23からのキュー管理情報から抽出された現在時刻情報を用いるように構成してもよい。

【0058】ここで、この図5に示すパケットスケジューラ3-1は、前述の図1に示すもの(符号3参照)に比

$$F_i \leq t_i + k$$

補正指示部33-2は、乖離検出部33-1にて検出された各乖離量に基づいてキュー選択制御部31による選択処理を補正すべく指示するものである。具体的には、乖離検出部33-1にて上述の式(3-1)を満たさないキューがあると判定された場合(即ちTime+kの値を超えるF' iの値を持つキュー22-1があると判定された場合)には、当該F' iの値をTime+kに書き換えるように、送出予定時刻計算部31-1に指示するようになっている。

【0062】なお、上述の時刻情報抽出部32Aからの現在時刻情報についても、前述の第1実施形態における時刻情報生成部32と同様に、現在時刻を判断するための一つの指標であって、通常、比較対象のキュー22-iから現実にはパケットが送信される時刻とは乖離する。

して、時刻情報生成部32の代わりに、キュー情報通知部23からのキュー管理情報から現在時刻情報を抽出し取得する時刻情報取得部32Aをそなえている点が異なり、その他の構成については、図1に示すパケットスケジューラ3と基本的に同様である。なお、図5中で図1と同一の符号は、ほぼ同様の部分を示している。

【0059】すなわち、時刻情報取得部32Aは、キュー情報通知部23から通知されるキュー管理情報からパケット到着時刻に関する情報を抽出し取得するもので、取得したパケット到着時刻情報を現在時刻情報として乖離検出部33-1に出力するようになっている。例えば、キュー情報通知部23からキュー22-1についての管理情報が通知された場合には、この管理情報からパケット到着時刻情報t i (キュー22-1に最新パケットが到着した時刻情報)を抽出し取得して、この到着時刻情報t iを現在時刻情報として乖離検出部33-1へ出力するようになっている。即ち、乖離検出部33-1では、時刻情報取得部32Aからの到着時刻情報t iを、キュー22-1について計算された送出予定時刻について乖離幅を判定する際の基準となる現在時刻情報として用いることができるようになっている。

【0060】具体的には、乖離検出部33-1では、送出予定時刻計算部31-1にて計算された送出予定時刻データ(例えばキュー22-1について計算されたデータF i)と、時刻情報取得部32Aからの現在時刻データとしての到着時刻データt iとを入力されて、このF iとt i+k(t iに対して乖離が許容される値で、予め設定されたもの)との大小を比較して、比較判定結果を補正指示部33-2に出力するようになっている。

【0061】換言すれば、乖離検出部33-1では、キュー22-1についての前回送出予定時刻データF' iと現在時刻データTime+kとの比較結果を、以下に示す式(3-1)を満たすか否かの判定情報として比較判定結果について補正指示部33-2に出力するようになっている。

$$\dots (3-1)$$

しかしながら、送出予定時刻F iとの比較において、許容値としてのkを加算した値を用いることにより、そのような乖離を吸収するだけでなく、乖離検出部31-1では明らかにオーバフローの原因となるようなF iの乖離幅のみを検出することができるのである。

【0063】上述の構成により、本発明の第1実施形態の第1変形例にかかるパケットスケジューラ3-1では、図6のフローチャートに示すように、乖離補正部33-1における乖離補正処理を行なう際に、現在時刻取得部32Aにて取得された到着時刻データを現在時刻データとして用いている点以外は、基本的に前述の第1実施形態の場合と同様に動作する。なお、図6中で図4と同一の符号が付された処理ステップでは、ほぼ同様の動作が行なわれる。以下においては、前述の図4の場合と

異なる点に着目して動作を説明する。

【0064】すなわち、乖離補正部33-1の乖離検出部33-1では、キュー22-1~22-nのうちで、バックログ状態にあるキューについて算出された送出予定時刻データ（例えばキュー22-iにおけるデータFi）が、時刻情報取得部32Aにて取得された現在時刻情報から許容された乖離幅にあるか否かを検出する（ステップA6-1）。

【0065】具体的には、乖離検出部33-1では、Fiの値とti+kとの大小比較を行なって、前述の式（3-1）を満たす場合には許容された乖離幅にあることを検出する一方、式（3-1）を満たさない場合には許容された乖離幅に無いことを検出する。なお、検出結果については補正指示部33-2に通知される。補正指示部33-2では、Fiの値とti+kとの大小比較を行なった結果、前述の式（3-1）を満たす場合には当該Fiの値を補正せずに後段の送出予定時刻比較部31-2へ出力する旨を送出予定時刻計算部31-1へ指示する一方（ステップA6-1のYESルート）、式（3-1）を満たさない場合には当該Fiの値を乖離許容範囲内の値ti+kに書き換えるべく、送出予定時刻計算部31-1へ補正指示する（ステップA6-1のNOルートからステップA8-1）。

【0066】送出予定時刻比較部31-2では、補正指示部33-2からの補正指示に基づいて必要な補正が施された送出予定時刻データについて比較することを通じ、パケットを送出すべきキューを選択しているため、送出予定時刻が実時刻に乖離することを抑制し、オーバーフローの原因を解消している。したがって、第1実施形態の第1変形例にかかるパケットスケジューラ3-1においても、乖離補正部33により、現在時刻情報に基づきキュー選択制御部31における処理を補正することができるので、前述の第1実施形態の場合と同様の利点があるほか、現在時刻取得部32Aにより、送出待ちパケットデータからの管理情報を、現在時刻情報を取得するために流用することができるので、時刻情報生成のための専用の機能部を持つ必要がなくなり、装置構成の簡素

$$F'i \leq \text{Time} + k$$

これにより、補正指示部33A-2は、乖離検出部33A-1にて上述の式（3-1）を満たさないキューがあると判定された場合（即ちTime+kの値を超えるF'iの値を持つキュー22-iがあると判定された場合）には、当該F'iの値をTime+kに書き換えるように、送出予定時刻計算部31A-1に指示するようになっている。

【0071】上述の構成による、本発明の第1実施形態の第2変形例にかかるパケットスケジューラ3-2においても、乖離補正部33Aにおける乖離補正処理以外については、基本的に前述の第1実施形態の場合と同様に動作する。すなわち、図8のフローチャートに示すよう

化を図ることもできる。

【0067】（a3）第1実施形態の第2変形例の説明  
上述の第1実施形態においては、乖離補正部33が、送出予定時刻計算部31-1からの計算結果としての各送出予定時刻データ（例えばキュー22-iにおけるデータFi）を用いて現在時刻との乖離幅を判定しているが、これに限定されず、例えば図7に示すパケットスケジューラ3-2のように、各送出予定時刻データを算出する際の間中パラメータを用いて現在時刻との乖離幅を検出するように構成することもできる。

【0068】すなわち、この図7に示すパケットスケジューラ3-2は、前述の図1に示すパケットスケジューラ（符号3参照）に比して、乖離補正部33Aが、送出予定時刻計算部31A-1による計算結果ではなく計算過程の間中パラメータの値に、時刻情報生成部32からの現在時刻情報を反映させることにより、キュー選択制御部31Aの送出予定時刻比較部31-2における選択処理を補正するようになっている点が異なり、その他の構成についてはほぼ共通する。

【0069】すなわち、乖離補正部33Aの乖離検出部33A-1は、送出予定時刻計算部31A-1における計算で用いられる中間パラメータとしての前回パケット送出時に計算された送出予定時刻情報と、時刻情報生成部32からの現在時刻情報との乖離量をそれぞれ検出するものである。具体的には、乖離検出部33A-1は、キュー22-iにおいて前回パケットを送出した際に計算された送出予定時刻データF'iと、時刻情報生成部32からの現在時刻データTimeに乖離許容値kを加えた値（Time+k）との大小比較を行なって、比較判定結果を乖離補正部33Aの補正指示部33A-2に出力するようになっている。

【0070】換言すれば、乖離検出部33A-1では、キュー22-iについての前回送出予定時刻データF'iと現在時刻データTime+kとの比較結果を、以下に示す式（3-2）を満たすか否かの判定情報として比較判定結果について補正指示部33A-2に出力するようになっている。

$$\dots (3-2)$$

に、乖離補正部33A-1の乖離検出部33A-1において、キュー22-1~22-nのうちでバックログ状態にあるキューについて送出予定時刻データ（例えばキュー22-iにおけるデータFi）を算出する前段において、この送出予定時刻データを算出するための中間パラメータF'iの値の現在時刻データに対する乖離幅が許容範囲内にあるか否かを判定する。

【0072】換言すれば、乖離補正部33Aの乖離検出部33A-1では、中間パラメータとしての前回パケット送出時の送出予定時刻データを送出予定時刻計算部31A-1から入力され、この中間パラメータの値の現在時刻データに対する乖離幅が許容範囲内にあるか否かを

判定する。例えば、乖離検出部 33A-1 では、キュー 22-i の送出予定時刻データを計算する前段において、前回バケット送出時に計算された送出予定時刻データ  $F'i$  と  $Time+k$  との大小比較を行なって、 $F'i$  の値が許容範囲を超えて現在時刻に乖離しているか否かを判定し（ステップ A6-2）、判定結果を補正指示部 33A-2 に通知する。

【0073】ここで、補正指示部 33A-2 では、 $F'i$  の値と  $Time+k$  との大小比較の結果、前述の式（3-2）を満たす場合には、当該  $F'i$  の値をキュー 22-i の送出予定時刻の計算に用いるパラメータとして用いる旨を送出予定時刻計算部 31A-1 に通知し、補正指示は行なわない（ステップ A6-2 の YES ルートからステップ A4）。

【0074】一方、補正指示部 33A-2 では、 $F'i$  の値と  $Time+k$  との大小比較の結果、前述の式（3-2）を満たさない場合には、当該  $F'i$  の値を乖離許容範囲内の値  $Time+k$  に書き換えるように、送信予定時刻計算部 31A-1 に対して補正指示を行なう（ステップ A6-2 の NO ルートからステップ A8-2）。

【0075】送出予定時刻計算部 31A-1 では、補正指示部 33A-2 からの補正指示により必要な補正が施された  $F'i$  の値をパラメータとして、送信予定時刻  $F'i$  を計算することにより、オーバフローの原因を解消している。したがって、第 1 実施形態の第 2 変形例にかかるバケットスケジューラ 3-2 においても、乖離補正部 33A により、現在時刻情報に基づきキュー選択制御部 31A における処理を補正することができるので、前述の第 1 実施形態の場合と同様の利点がある。

【0076】また、乖離補正部 33A が、送出予定時刻計算部 31A-1 における各計算過程の中間パラメータと現在時刻情報との乖離を許容範囲内に収める補正を行なうことを通じて送出予定時刻計算部 31A-1 の計算に現在時刻情報を反映させることにより、送出予定時刻比較部 31-2 における選択処理を補正して、WFQ 計算上の演算誤差を確実に補正された値を用いて送出予定時刻比較部 31-2 における選択処理を行なうことがで

$$F'i \leq ti+k$$

なお、図 9 中で、図 5 および図 7 と同一の符号は、ほぼ同様のものを示す。

【0081】このような構成による、本発明の第 1 実施形態の第 3 変形例にかかるバケットスケジューラ 3-3 においても、乖離検出部 33A-1 における乖離補正処理を行なう際に、現在時刻取得部 32A にて取得された到着時刻データを現在時刻データとして用いている点と、乖離検出部 33A における現在時刻データとの比較対象として、送出予定時刻の計算過程の中間パラメータを用いる点以外については、基本的に前述の第 1 実施形態の場合と同様に動作する。

【0082】すなわち、図 10 のフローチャートに示す

きるので、送出予定時刻の計算値を示すビットデータの桁あふれ（オーバフロー）を防止して、送出予定時刻比較部 31-2 における選択処理の信頼度、ひいてはバケットスケジューラの性能ないし信頼度を向上させることができる利点がある。

【0077】（a4）第 1 実施形態の第 3 変形例の説明図 9 は本発明の第 1 実施形態の第 3 変形例にかかるバケットスケジューラ 3-3 を示すブロック図であり、この図 9 に示すバケットスケジューラ 3-3 は、前述の第 1 実施形態の第 1 変形例におけるもの（符号 3-1 参照）と第 1 実施形態の第 2 変形例におけるもの（符号 3-2 参照）とを組み合わせたものである。

【0078】すなわち、第 1 実施形態の第 3 変形例にかかるバケットスケジューラ 3-3 は、前述の第 1 実施形態におけるもの（符号 3 参照）に比して、時刻情報生成部 32 の代わりに、キュー情報通知部 23 からのキュー管理情報から現在時刻情報を抽出し取得する時刻情報取得部 32A をそなえる点が異なるほか、乖離補正部 33A が、送出予定時刻計算部 31A-1 からの計算結果ではなく計算過程の中間パラメータの値に時刻情報生成部 32 からの現在時刻情報を反映させることにより、選択手段としての送出予定時刻比較部 31-2 における選択処理を補正するようになっている点が異なり、その他の構成についてはほぼ共通する。

【0079】具体的には、乖離検出部 33A-1 は、キュー 22-i において前回バケットを送出した際に計算された送出予定時刻データ  $F'i$  と、時刻情報取得部 32A からの現在時刻データ  $ti$  に乖離許容値  $k$  を加えた値（ $ti+k$ ）との大小比較を行なって、比較判定結果を乖離補正部 33A の補正指示部 33A-2 に出力するようになっている。

【0080】換言すれば、乖離検出部 33A-1 では、キュー 22-i についての前回送出予定時刻データ  $F'i$  と現在時刻データ  $ti+k$  とについて、以下に示す式（3-3）を満たすか否かを判定することで比較し、比較判定結果については補正指示部 33A-2 に出力するようになっている。

$$\dots (3-3)$$

ように、乖離補正部 33A-1 の乖離検出部 33A-1 において、キュー 22-1 ~ 22-n のうちでバックログ状態にあるキューについて送出予定時刻データ（例えばキュー 22-i におけるデータ  $F'i$ ）を算出する前段において、この送出予定時刻データを算出するための中間パラメータ  $F'i$  の値の現在時刻データに対する乖離幅が許容範囲内にあるか否かを判定する（ステップ A6-3）。

【0083】換言すれば、乖離補正部 33A の乖離検出部 33A-1 では、中間パラメータとしての前回バケット送出時の送出予定時刻データを送出予定時刻計算部 31A-1 から入力される一方、時刻情報取得部 32A が

ら現在時刻データとしてのパケット到着時刻データを入力され、この中間パラメータの値の現在時刻データに対する乖離幅が許容範囲内にあるか否かを判定する。

【0084】例えば、乖離検出部33A-1では、キュー22-1の送出予定時刻データを計算する前段において、前回パケット送出時に計算された送出予定時刻データ $F'i$ と $t_i+k$ との大小比較を行なって、 $F'i$ の値が許容範囲を超えて現在時刻に乖離しているか否かを判定し（ステップA6-3）、判定結果を補正指示部33A-2に通知する。

【0085】ここで、補正指示部33A-2では、 $F'i$ の値と $t_i+k$ との大小比較の結果、前述の式（3-3）を満たす場合には、当該 $F'i$ の値をキュー22-1の送出予定時刻の計算に用いるパラメータとして用いる旨を送出予定時刻計算部31A-1に通知し、補正指示は行わない（ステップA6-3のYESルートからステップA4）。

【0086】一方、補正指示部33A-2では、 $F'i$ の値と $t_i+k$ との大小比較の結果、前述の式（3-3）を満たさない場合には、当該 $F'i$ の値を乖離許容範囲内の値 $t_i+k$ に書き換えるように、送信予定時刻計算部31A-1に対して補正指示を行なう（ステップA6-3のNORルートからステップA8-3）。送出予定時刻計算部31A-1では、補正指示部33A-2からの補正指示により必要な補正が施された $F'i$ の値をパラメータとして、送信予定時刻 $F_i$ を計算することにより、オーパフローの原因を解消している。

【0087】したがって、第1実施形態の第3変形例にかかるパケットスケジューラ3-3においても、乖離補正部33Aにより、現在時刻情報に基づきキュー選択制御部31Aにおける処理を補正することができるので、前述の第1実施形態の場合と同様の利点があるほか、現在時刻取得部32Aにより、回路構成の簡素化を図ることもできる。

【0088】また、乖離補正部33Aが、送出予定時刻計算部31A-1による計算結果としての各送出予定時刻情報と現在時刻情報との乖離を許容範囲内に収める補正を行なうことを通じて送出予定時刻計算部31A-1の計算に現在時刻情報を反映させることにより、送出予定時刻比較部31-2における選択処理を補正することで、WFQ計算上の演算誤差を確実に補正された値を用いて送出予定時刻比較部31-2における選択処理を行なうことができるので、前述の第1実施形態の第2変形例の場合と同様の効果を得ることもできる。

【0089】（b1）第2実施形態の説明

図11は本発明の第2実施形態にかかるパケットスケジューラ3Bを示すブロック図であり、この図11に示すパケットスケジューラ3Bにおいても、前述の第1実施形態におけるもの（符号3参照）と同様に、図2に示すパケット転送装置に適用されて、キュー22-1～22-

nにて保持されているパケットデータをWFQアルゴリズムに基づいてスケジューリングを行なうことができるようになっている。

【0090】なお、第2実施形態の場合においても、上述のキュー22-1～22-nのうちで、WFQのアルゴリズムを適用しないキューを設定することもできる。この場合においては、当該キューについては後述するWFQアルゴリズムによるパケットスケジューリング処理の対象からは除外される。さて、第2実施形態にかかるパケットスケジューラ3Bにおいても、前述の第1実施形態におけるパケットスケジューラ3に比して、乖離補正部33Bにおいて現在時刻情報との乖離を補正する対象となる送出予定時刻情報が異なっており、その他の構成についてはほぼ共通している。なお、図11中で図1と同一の符号は、ほぼ同様の部分を示している。

【0091】すなわち、乖離補正部（補正手段）33Bは、乖離検出部（乖離検出手段）33B-1と補正指示部（指示手段）33B-2とをそなえて構成され、キュー選択制御部（キュー選択手段）31Bは、送出予定時刻計算部（送出予定時刻計算手段）31B-1と送出予定時刻比較部（選択手段）31B-2とをそなえて構成されている。

【0092】ここで、乖離検出部33B-1は、キュー選択制御部31Bにて選択制御されたキューについて計算された送出予定時刻情報と現在時刻情報との乖離量を検出するものであり、補正指示部33B-2は、乖離検出部33B-1にて検出された乖離量に基づいて送出予定時刻比較部31B-1による選択処理を補正すべく指示するものである。

【0093】この点、前述の第1実施形態にかかるパケットスケジューラ3（図1参照）の乖離補正部31では、送出予定時刻計算部31-1にて計算されたバックログ状態の各キューの送出予定時刻情報の全てについて必要な補正を施すための処理を行なっているのに対し、第2実施形態にかかるパケットスケジューラ3Bでは、キュー選択制御部31Bにて選択制御されたキューについて計算された送出予定時刻情報のみについて必要な補正を施すための処理を行なっている。

【0094】例えば、送出予定時刻比較部31B-2において、送出予定時刻計算部31B-1からの、バックログ状態のキューごとに計算された送出予定時刻データを比較した結果、最小値の送出予定時刻データを有するキュー22-iが選択された場合には、乖離検出部33B-1では、このキュー22-iについて計算された送出予定時刻データ $F_i$ の現在時刻データに対する乖離を検出するようになっている。

【0095】具体的には、最小値の送出予定時刻データ $Min F$ と、時刻情報生成部32からの現在時刻データ $Time$ に乖離許容値 $k$ を加えた値（ $Time+k$ ）との大小比較を行なって、比較判定結果を乖離補正部33

Bの補正指示部33B-2に出力するようになっている。換言すれば、乖離検出部33B-1では、最小値の送出予定時刻データMinF（選択されたキュー22-iについての送出予定時刻データFi）と現在時刻デー

$$\text{MinF} \leq \text{Time} + k$$

乖離検出部33B-1にて上述の式(3B)を満たさないキューがあると判定された場合（即ちTime+kの値を超えると判定された場合）には、補正指示部33B-2からの指示に基づいて、送出予定時刻比較部31B-2では、WFQアルゴリズムによるキューからのパケットの読み出し指示を行わず、他のアルゴリズムによるパケット転送制御がなされるキューがあれば、当該キューからのパケットの読み出し指示を行なう。

【0097】換言すれば、補正指示部33-2では、送出予定時刻比較部31B-2にて選択される最小値の送出予定時刻データが、現在時刻情報に対して許容範囲kの範囲内に乖離が収まるまで、WFQアルゴリズムが適用されるキューからのパケットの読み出しの停止を指示することを通じて、送出予定時刻比較部31-2による選択処理を間接的に補正できるようになっている。

【0098】上述の乖離補正部33による補正処理を通じて、Fiの計算値を示すビットデータが一定値以上になって桁あふれ（オーバフロー）を起こすことを防止し、後段の送出予定時刻比較部31-2における最小値選択処理の信頼度を常に適正に保っている。上述の構成により、本発明の第2実施形態にかかるパケットスケジューラ3Bを前述の図2に示すパケット転送装置に適用した場合にも、基本的に第1実施形態の場合と同様にWFQアルゴリズムによるパケット転送処理が行なわれる。そこで、第2実施形態のパケットスケジューラ3B特有の送出予定時刻データの補正手法に着目した動作について、図12のフローチャートを用いて以下に説明する。

【0099】すなわち、図12のフローチャートに示すように、パケットスケジューラ3の送出予定時刻計算部31B-1では、バックログ状態にある各キュー22-i（i=1～n）についての送出予定時刻を、前述の式(1)および式(2)を用いることにより計算している（ステップB1～ステップB6）。なお、図4中のステップB4、ステップB5における変数tempは、前述の式(1)および式(2)の計算過程において用いられ一時記憶用の補助変数である。

【0100】送出予定時刻比較部31-2では、バックログ状態の各キューについての送出予定時刻データを、送出予定時刻計算部31-1から入力され、各送出予定時刻データのうちの最小値の送出予定時刻データMinFを持つキュー（例えばキュー22-iの送出予定時刻データFi）を選択する（ステップB7～ステップB11）。

【0101】また、乖離補正部33Bの乖離検出部33B-1では、送出予定時刻比較部31-2にて最小値が

タTime+kとの比較結果を、以下に示す式(3B)を満たすか否かを判定し、比較判定結果について補正指示部33A-2に出力するようになっている。

【0096】

…(3B)

選択された送出予定時刻データMinFについて、前述の式(3B)による現在時刻情報との比較を行なって、計算された送出予定時刻データが許容範囲を超えて現在時刻に乖離しているか否かを判定する（ステップB12）。この比較判定結果は、乖離検出部33B-1から補正指示部33-2に通知される。

【0102】ここで、乖離検出部33B-1では、MinFの値が前述の式(3B)を満たしていれば（ステップB12のYESルート）、当該送出予定時刻データMinFは許容範囲内であると判定し、判定結果を補正指示部33B-2に出力する。この場合は、補正指示部33B-2では、送出予定時刻比較部31B-2に対して補正を行わない旨を指示する。

【0103】補正指示部33B'-2から上述の指示を受けると、送出予定時刻比較部31B-2では、補正指示部33B-2からの指示に基づいて、当該MinF（=Fi）の値をキュー22-iの前回送出予定時刻F'iとして次回の送信予定時刻計算のために図示しないメモリ機能に記憶させる（ステップB13）。その後、選択されたキュー22-iの識別番号をキュー構成部2に通知することにより、当該キュー22-iに格納されているパケットデータを読み出し指示をキュー構成部2の書き込み/読み出し制御部21（図3参照）に対して出力する（ステップB14）。

【0104】このようにして、パケットスケジューラ3Bによるスケジューリング処理により送出すべきパケットの読み出し指示が出力されると、選択されたキュー22-iの先頭パケットが読み出されて、パケット送出部4を通じて回線に出力されることになる。一方、乖離検出部33-1において、前述の式(3B)を満たさないならば（ステップB12のNOルート）、計算された送出予定時刻Fiは許容範囲を超えて現在時刻に乖離していると判定し、判定結果を補正指示部33-2に通知する。補正指示部33-2では、乖離検出部33-1からの判定結果に基づいて、WFQアルゴリズムが適用されたキュー以外のキューがバックログ状態にあれば、当該キューからパケットデータを読み出すべき旨を送出予定時刻比較部33B-2に指示する（ステップB15）。

【0105】これにより、送出予定時刻比較部33B-2では、WFQアルゴリズム以外のアルゴリズムで読み出し制御がなされるキューからのパケットデータの読み出し指示を、書き込み/読み出し制御部21に対して出力する。従って、選択された送出予定時刻データが現在時刻に許容範囲を超えて乖離している場合には、当該キューからのパケット送出を停止して、WFQアルゴリズム

ムによるキューで確保された空き帯域を他のアルゴリズムにより転送制御されるパケットに振り分けている。

【0106】すなわち、WFQアルゴリズムが適用されるキューからのパケットの読み出しを停止することで、式(1)、(2)により計算される送出予定時刻データが増加(インクリメント)することもなくなるので、現在時刻データとの乖離幅を狭めることができるのである。このように、本発明の第2実施形態にかかるパケットスケジューラ3Bによれば、乖離補正部33Bにより、現在時刻情報に基づきキュー選択制御部31Bにおける選択処理を停止することを通じて補正することができるので、WFQ計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現できる利点がある。

【0107】すなわち、補正指示部33B-2が、乖離検出部33B-1にて検出された乖離量に基づいて、キュー選択制御部31Bの送出予定時刻比較部31B-2による選択処理を停止することにより、最小値の送出予定時刻データの現在時刻データに対する乖離が許容範囲k内に収まるまでWFQアルゴリズムが適用されたキューからのパケットの読み出しの停止、すなわち計算される送出予定時刻データの増加を停止させることができるので、送出予定時刻が実時刻と乖離することを防止することができる。

【0108】(b2)第2実施形態の第1変形例の説明  
図13は本発明の第2実施形態の第1変形例にかかるパケットスケジューラ3B'を示すブロック図であり、この図13に示すパケットスケジューラ3B'は、上述のごとき第2実施形態のパケットスケジューラ3Bとは異なり、選択されなかったキューを含むWFQアルゴリズムが適用される全てのキューについての送出予定時刻データを補正するとともに、送出予定時刻比較部31B'-2にて選択されたキューに格納されているパケットデータの読み出し指示を行なうようになっている。

【0109】すなわち、乖離補正部33B'の補正指示部33B'-2は、乖離検出部33B-1にて検出された乖離量に基づいて、送出予定時刻比較部31B'-2による選択の基準となる各キューの送出予定時刻情報を補正すべく指示するように構成されている。具体的には、乖離検出部33B-1において、最小値の送出予定時刻データFiが時刻情報生成部32からの現在時刻データTimeに対して許容範囲kを超えて乖離していると判定された場合には、補正指示部33B'-2では、送出予定時刻比較部31B'-2に対して補正指示を出力する。この補正指示により、送出予定時刻比較部31B'-2では、WFQアルゴリズムが適用された全てのキューについての送出予定時刻データを乖離上限値のTime+kに書き換える。なお、送出予定時刻比較部31B'-2では、先行して選択された最小値の送出予定時刻データを有するキューの識別番号をキュー構成部2に

通知することにより、当該キューに格納されている先頭パケットデータの読み出し指示を行なうようになっている。

【0110】上述の構成により、第2実施形態の第1変形例にかかるパケットスケジューラ3B'では、補正指示部33B'-2において、選択されなかったキューを含むWFQアルゴリズムが適用される全てのキューについての送出予定時刻データを補正すべく指示するとともに、送出予定時刻比較部31B'-2では、先行して選択されたキューに格納されているパケットデータの読み出し指示を行なう点が前述の第2実施形態の場合と異なり、その他の動作についてはほぼ共通する。

【0111】すなわち、図14のフローチャートに示すように、乖離検出部33B-1では、送出予定時刻比較部33B'-2にて先行して選択されているMinFの値が前述の式(3B)を満たしていると判定された場合には(ステップB12のYESルート)、補正指示部33B'-2では、送出予定時刻比較部31B-2に対して補正を行なわない旨を指示する。

【0112】補正指示部33B'-2から上述の指示を受けると、送出予定時刻比較部31B'-2では、補正指示部33B-2からの指示に基づいて、当該MinF(=Fi)の値をキュー22-iの前回送出予定時刻F'iとして次の送信予定時刻計算のために図示しないメモリ機能に記憶させる(ステップB13)。その後、選択されたキュー22-iの識別番号をキュー構成部2に通知することにより、当該キュー22-iに格納されているパケットデータの読み出し指示をキュー構成部2の書き込み/読み出し制御部21(図3参照)に出力する(ステップB14)。

【0113】一方、乖離検出部33B-1において、前述の式(3B)を満たさないと判定されたならば(ステップB12のNOルート)、補正指示部33B-2では、選択されなかったキューを含むWFQアルゴリズムが適用される全てのキューについての送出予定時刻データを乖離上限値のTime+kに補正すべく指示する(ステップB16~B19)。

【0114】上述の補正指示に基づいて、送出予定時刻比較部31B'-2にて送出予定時刻が補正され、補正された各送出予定時刻データが例えば図示しないメモリ機能に格納された後は、送出予定時刻比較部31B'-2では、補正指示部33B-2からの指示に基づいて、当該MinF(=Fi)の値をキュー22-iの前回送出予定時刻F'iとして次の送信予定時刻計算のために図示しないメモリ機能に記憶させる(ステップB13)。

【0115】その後、送出予定時刻比較部31B'-2にて先行して選択されたキュー22-iの識別番号をキュー構成部2に通知することにより、当該キュー22-iに格納されている先頭パケットデータの読み出し指示

をキュー構成部2の書き込み／読み出し制御部21(図3参照)に出力する(ステップB14)。このように、第2実施形態の第1変形例にかかるパケットスケジューラ3B'においても、乖離補正部33B'により、現在時刻情報に基づき全てのWFQアルゴリズムが適用されたキューの送出予定時刻について補正することができるので、前述の第1実施形態の場合と同様、WFQ計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現できる利点がある。

【0116】(b3)第2実施形態の第2変形例の説明  
図15は本発明の第2実施形態の第2変形例にかかるパケットスケジューラ3Cが適用されたパケット転送装置6を示すブロック図であり、この図15に示すパケット転送装置6は、前述の図2に示すパケット転送装置におけるパケットスケジューラ(符号3参照)として、図11に示すパケットスケジューラ3Bまたは図13に示すパケットスケジューラ3B'のいずれかの態様で動作するパケットスケジューラ3Cを適用したものである。

【0117】また、このパケット転送装置6には、このパケット転送装置6の動作環境をオペレータが確認したり設定したりするための動作環境設定監視装置としてのワークステーション5が接続されている。このワークステーション5は、制御部5-1、ディスプレイ5-2及びキーボード、マウス等の入力装置5-3をそなえて構成されている。

【0118】ここで、制御部5-1は、データやプログラム等を記憶しうる図示しない記憶機能と記憶機能にて記憶されているコンピュータプログラムを実行しうる制御機能とを少なくとも有してなるもので、動作環境設定部51及び表示制御部52をそなえて構成されている。ここで、動作環境設定部51は、パケット転送装置6の動作環境、具体的にはパケットスケジューラ3Cにおける乖離補正部による乖離補正処理の有効／無効を設定しうるものであり、表示制御部52は、ワークステーション5の動作状態、具体的にはパケットスケジューラ3Cによる乖離補正状況をディスプレイ5-2にて表示するための制御を行なうものである。

【0119】また、制御部5-1の動作環境設定部5-2は、例えば前述の図13に示すパケットスケジューラ3B'で行っていた乖離補正動作を行なうか否かの環境を設定する機能(乖離補正環境設定機能)と、乖離検出部33B'-1における送出予定時刻データの現在時刻に対する乖離を検出する際の許容値kを設定する機能(乖離上限値設定機能)とをそなえている。さらに、表示制御部52は、乖離検出部33B'-1にて検出される現在時刻データとの乖離幅を表示制御する機能(乖離幅表示機能)をそなえている。

【0120】ところで、上述の制御部5-1による各機能の動作により、ディスプレイ5-2では、例えば図1

6に示すような表示を行なうことができるようになってくる。すなわち、パケットスケジューラ3Cの動作環境を設定する機能を動作させる際には、表示制御部52の制御により、その動作状態に応じて例えば設定画面5A～5Fに示すような画面をディスプレイ5にて表示することができる。

【0121】この設定画面5A～5Fに示すように、パケットスケジューラ3Cの動作環境を設定するための画面としては、4行により構成され、上から1行目には、この表示・設定画面のタイトルが表示される。また、2行目は上述の乖離補正環境設定機能による設定を行なうための表示であって、現在の乖離補正環境について表示されている。3行目には乖離上限値設定機能による設定を行なうための表示であって、現在乖離上限値が表示されている。さらに、4行目には乖離幅表示機能による乖離幅(乖離値)が表示される。

【0122】また、設定画面5A～5Fにおける上から2行目または3行目の設定値を変更する際には、キーボード5-3における図示しない矢印キーを操作することによって、該当する設定を指定することができるようになっている。なお、指定された設定部分については反転表示がなされる。例えば設定画面5Aでは「乖離補正機能」が反転表示され、乖離補正環境設定機能による設定ができ、設定画面5Dでは「乖離上限値」が反転表示され、乖離上限値設定機能による設定ができるような状態となっている。

【0123】ここで、乖離補正環境設定機能を選択した状態で(画面5A参照)、キーボード5-3におけるリターンキー(図示せず)を押下すると、画面5Bに示すように、乖離補正機能の有効(“on”)かまたは無効(“off”)を設定する画面表示となる。この状態においてキーボード5-3の矢印キーで“on”かまたは“off”の反転表示部分を選択したのち、リターンキーを押下することにより、乖離補正環境を設定することができる。なお、画面5Cでは、乖離補正機能を有効(“on”)から無効(“off”)に設定を変更している。

【0124】同様に、乖離上限値設定機能を選択した状態で(画面5D参照)、キーボード5-3におけるリターンキー(図示せず)を押下すると、画面5Eに示すように、乖離上限値が入力できる画面表示となる。この状態においてキーボード5-3の数字キーで所望の乖離上限値を入力したのち、リターンキーを押下することにより、乖離上限値kとして入力した値を確定させることができる。なお、画面5Fでは、乖離上限値kを200ms(ミリ秒)150ms(ミリ秒)に設定を変更している。

【0125】また、上述のごときワークステーション5によるパケット転送装置6の動作環境の設定が変更されると、パケット転送装置6では、変更された設定に従っ

て動作環境が更新されて、パケット転送処理を行なうことになる。なお、乖離幅表示機能により画面5A~5F上の4行目に表示される乖離幅については、パケットスケジューラ3Cの機能により乖離幅が補正された場合には、補正直後の乖離値について通常と異なる色で表示することにより、乖離補正機能が動作したことを強調的に表示することができるようになっている。

【0126】上述の構成による、本発明の第2実施形態の第2変形例の動作について、図17及び図18のフローチャートを用いて以下に説明する。第2実施形態の第2変形例にかかるパケットスケジューラ3Cが適用されたパケット転送装置6では、動作環境設定監視装置としてのワークステーション5の乖離補正環境設定機能による設定により、前述の第2実施形態の第1変形例(図13及び図14参照)にて詳述したような乖離補正動作を行なう環境か、または前述の第2実施形態(図11及び図12参照)にて詳述したような乖離補正動作を行わない環境かのいずれかの動作環境で動作する。

【0127】なお、乖離補正を行なう前段までの処理、即ち図13に示す送出予定時刻計算部31B-1による送出予定時刻データの計算処理や、送出予定時刻比較部31B'-1による送出予定時刻データのうちの最小値を選択する処理については、図13に示すパケットスケジューラ3B'と同様である(図17のステップB1~B11)。

【0128】換言すれば、パケットスケジューラ3Cにおいても、送出予定時刻計算部において、バックログ状態のキューについて送出予定時刻を計算した後に、送出予定時刻比較部では計算された送出予定時刻から最小値の送出予定時刻を選択する処理までは、前述の図11または図13に示すパケットスケジューラ3B、3B'と共通する。

【0129】上述の送出予定時刻比較部において最小値の送出予定時刻が選択されると、ワークステーション5では、表示制御部52の乖離幅表示機能により、選択された送出予定時刻の最小値と時刻情報生成部32からの現在時刻データTimeとの差分値Diff(=MinF-Time)をディスプレイ5-2において表示する(ステップB20)。

【0130】続いて、動作環境設定部51の乖離補正環境設定機能による設定に基づいて、乖離補正機能が有効である場合には(Act=1)、前述の図13のパケットスケジューラ3B'と同様の乖離補正処理を行なう(ステップB21のYESルートから図18のステップB22~B28)。換言すれば、乖離補正機能が有効である場合には、パケットスケジューラ3Cは前述の図13に示すパケットスケジューラ3B'と同様に動作する。

【0131】ここで、パケットスケジューラ3Cの乖離検出部33B-1で、最小値の送出予定時刻データMi

nFが時刻情報生成部32からの現在時刻データTimeに対して許容範囲kを超えて乖離していることを検出した場合(ステップB22のNOルート)、補正指示部33B'-2では、選択されなかったキューを含むWFQアルゴリズムが適用される全てのキューについての送出予定時刻データを乖離上限値のTime+kに補正すべく指示する(ステップB23~B25、B28)。なお、上述の許容範囲kは、動作環境設定部52の乖離上限値設定機能により設定されている。

10 【0132】上述のごとくWFQアルゴリズムが適用されるすべてのキューについての送出予定時刻データが補正される過程において、最小値として選択された送出予定時刻データについても補正されることによって、乖離幅表示機能によりディスプレイ5-2にて表示されていた乖離幅Diffの値も乖離上限値kの値に更新される(ステップB26)。この場合には、補正直後の乖離値Diff(=k)について通常と異なる色で表示することにより、乖離補正機能が動作したことを強調的に表示する(ステップB27)。

20 【0133】このようにして、すべての送出予定時刻データが補正されると、送出予定時刻比較部31B'-2では、補正指示部33B-2からの指示に基づいて、当該MinF(=Fi)の値をキュー22-iの前回送出予定時刻F'iとして次の送信予定時刻計算のために図示しないメモリ機能に記憶させる(ステップB29)。その後、選択されたキュー22-iの識別番号をキュー構成部2に通知することにより、当該キュー22-iに格納されているパケットデータの読み出し指示をキュー構成部2の書き込み/読み出し制御部21(図3参照)に出力する(ステップB30)。

30 【0134】また、上述の乖離補正機能が有効である状態において、最小値の送出予定時刻データMinFの値が前述の式(3B)を満たしていると判定された場合には(ステップB22のYESルート)、補正指示部33B'-2では、送出予定時刻比較部31B'-2に対して上述のごとき補正指示はせずに、当該送出予定時刻データMinFを持つキューに保持される先頭パケットの送出処理のための指示を行なう(ステップB29、B30)。

40 【0135】また、乖離補正機能が無効に設定されている場合には、パケットスケジューラ3Cは前述の図11のパケットスケジューラ3Bと同様に動作する。即ち、補正指示部33-2では、WFQアルゴリズムが適用されたキュー以外のキューがバックログ状態にあれば、当該キューからパケットデータを読み出すべき旨を送出予定時刻比較部33B-2に指示し(ステップB31)、上述のごとき乖離補正処理は行なわない。

50 【0136】このように、本発明の第2実施形態の第2変形例においても、前述の第1実施形態の場合と同様、WFQ計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時



刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現できる利点があるほか、動作環境設定監視装置としてのワークステーション 5 の動作環境設定部 51 により、装置運用に際しての乖離補正処理の必要性に応じて、乖離補正処理の有効／無効を設定することができるので、運用に最適な環境で装置を動作させることができるので、装置運用者の便宜に資するという利点がある。

【0137】なお、上述の第 2 実施形態の第 2 変形例にかかる動作環境設定装置としてのワークステーション 5 の各機能を動作させるためのコンピュータプログラムを、CD-ROM 等の記憶媒体に記憶しておき、パケット転送装置 6 の運用の際に、この記憶媒体に記憶されたプログラムをワークステーション 5 にて読取処理を行なって実施することも可能である。

【0138】(c) その他

上述の各実施形態にかかるパケットスケジューラの各機能としては、ハードウェア、ファームウェア、ソフトウェアまたはこれらの組み合わせなどのいずれにおいても実現可能である。また、上述の各実施形態における実施態様のほか、本発明の趣旨を逸脱しない範囲の他の態様で実施することも可能である。

【0139】(d) 付記

(付記 1) 出力保証帯域に基づく重み係数がそれぞれ設定された複数のキューにより送出待ちのパケットを管理するとともに、各キューに格納された先頭パケットの送出順序を決定するパケットスケジューラであって、各キューにおける送出待ちパケットの管理情報と前記重み係数とを用いた計算により得られた送出予定時刻情報に基づき、最優先に送出すべきパケットを格納するキューを選択制御するキュー制御手段と、現在時刻情報に基づいて、該キュー制御手段における処理を補正する補正手段とをそなえて構成されたことを特徴とする、パケットスケジューラ。

【0140】(付記 2) 該キュー制御手段が、バックログ状態の各キューにおける送出待ちパケットの管理情報と重み係数とを用いて前記バックログ状態の各キューに格納されたパケットの送出予定時刻を計算する送出予定時刻計算手段と、該送出予定時刻計算手段にて計算された各送出予定時刻情報に基づいてパケットを最優先に送出すべきキューを選択する選択手段とをそなえて構成されるとともに、該補正手段が、該送出予定時刻計算手段による計算に前記現在時刻情報を反映させることにより、該選択手段における選択処理を補正すべく構成されたことを特徴とする、付記 1 記載のパケットスケジューラ。

【0141】(付記 3) 該補正手段が、該キュー制御手段にて選択制御されたキューについて計算された前記の送出予定時刻情報と現在時刻情報との乖離量を検出する乖離量検出手段と、該乖離量検出手段にて検出された

乖離量に基づいて該選択手段による選択処理を補正すべく指示する指示手段とをそなえて構成されたことを特徴とする、付記 2 記載のパケットスケジューラ。

【0142】(付記 4) 該指示手段が、該乖離量検出手段にて検出された乖離量に基づいて、該選択手段による選択の基準となる各キューの送出予定時刻情報を補正すべく指示するように構成されたことを特徴とする、付記 3 記載のパケットスケジューラ。

(付記 5) 各キューにおける送出待ちパケットの管理情報を前記現在時刻情報を含んで入力され前記の管理情報から現在時刻情報を取得する時刻情報取得手段をそなえ、該補正手段が、該時刻情報取得手段にて取得された現在時刻情報に基づいて、該キュー制御手段における処理を補正するように構成されたことを特徴とする、付記 1 記載のパケットスケジューラ。

【0143】(付記 6) 該補正手段が、該送出予定時刻計算手段にて計算された前記の各送出予定時刻情報と現在時刻情報との乖離量をそれぞれ検出する乖離量検出手段と、該乖離量検出手段にて検出された各乖離量に基づいて該選択手段による選択処理を補正すべく指示する指示手段とをそなえて構成されたことを特徴とする、付記 2 記載のパケットスケジューラ。

【0144】(付記 7) 該補正手段が、該送出予定時刻計算手段における各計算過程の中間パラメータの値と前記現在時刻情報との乖離量をそれぞれ検出する乖離量検出手段と、該乖離量検出手段にて検出された各乖離量に基づいて該選択手段による選択処理を補正すべく指示する指示手段とをそなえて構成されたことを特徴とする、付記 2 記載のパケットスケジューラ。

【0145】(付記 8) 該指示手段が、該乖離量検出手段にて検出された乖離量に基づいて、該選択手段による選択処理を停止することを特徴とする、付記 3 記載のパケットスケジューラ。

(付記 9) 付記 1 記載のパケットスケジューラの補正手段の補正処理動作についての有効／無効の環境を設定しうる動作環境設定部と、該パケットスケジューラによる乖離補正状況動作を表示制御する表示制御部とをそなえて構成されたことを特徴とする、動作環境設定監視装置。

【0146】

【発明の効果】以上詳述したように、請求項 1～5 記載の本発明のパケットスケジューラによれば、補正手段により、現在時刻情報に基づきキュー制御手段における処理を補正することができるので、WFQ 計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現できる利点がある。

【0147】また、請求項 2 記載の本発明によれば、補正手段が、送出予定時刻計算手段の計算に現在時刻情報を反映させることにより、選択手段における選択処理を

補正することで、WFQ計算上の演算誤差を確実に補正された値を用いて選択手段における選択処理を行なうことができるので、送出予定時刻の計算値を示すビットデータを桁あふれ(オーバフロー)させることを防止して、選択手段における選択処理の信頼度、ひいてはパケットスケジューラやパケット転送装置の性能ないし信頼度を向上させることができる利点がある。

【0148】さらに、請求項5記載の本発明によれば、時刻情報取得手段をそなえたことにより、送出待ちパケットからの管理情報を、現在時刻情報を取得するために流用することができるので、時刻情報生成のための専用の機能部を持つ必要がなくなり、装置構成の簡素化を図ることもできる。また、補正手段により、現在時刻情報に基づきキュー制御手段における選択処理を停止することを通じて補正することができるので、WFQ計算上の演算誤差に起因するパケット送出予定時刻と実時刻の乖離による誤動作を防ぎながら、帯域保証及び公平な余剰帯域配分を実現できる利点がある。

【0149】すなわち、指示手段が、乖離量検出手段にて検出された乖離量に基づいて、キュー制御手段の選択手段による選択処理を停止することにより、最小値の送出予定時刻データの現在時刻データに対する乖離が許容範囲内に収まるまでWFQアルゴリズムが適用されたキューからのパケットの読み出しの停止、すなわち計算される送出予定時刻データの増加を停止させることができるので、送出予定時刻が実時刻と乖離することを防止することができる。

【0150】また、動作環境設定監視装置の動作環境設定部により、装置運用に際しての乖離補正処理の必要性に応じて、乖離補正処理の有効/無効を設定することができるので、運用に最適な環境で装置を動作させることができるので、装置運用者の便宜に資するという利点がある。

#### 【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施形態にかかるパケットスケジューラを示すブロック図である。

【図2】本実施形態にかかるパケットスケジューラが適用されるパケット転送装置を示すブロック図である。

【図3】本実施形態にかかるパケットスケジューラが適用されるパケット転送装置の要部を示すブロック図である。

【図4】本発明の第1実施形態の動作を説明するためのフローチャートである。

【図5】本発明の第1実施形態の第1変形例にかかるパケットスケジューラを示すブロック図である。

【図6】本発明の第1実施形態の第1変形例の動作を説明するためのフローチャートである。

【図7】本発明の第1実施形態の第2変形例にかかるパケットスケジューラを示すブロック図である。

【図8】本発明の第1実施形態の第2変形例の動作を説

明するためのフローチャートである。

【図9】本発明の第1実施形態の第3変形例にかかるパケットスケジューラを示すブロック図である。

【図10】本発明の第1実施形態の第3変形例の動作を説明するためのフローチャートである。

【図11】本発明の第2実施形態にかかるパケットスケジューラを示すブロック図である。

【図12】本発明の第2実施形態の動作を説明するためのフローチャートである。

10 【図13】本発明の第2実施形態の第1変形例にかかるパケットスケジューラを示すブロック図である。

【図14】本発明の第2実施形態の第1変形例の動作を説明するためのフローチャートである。

【図15】本発明の第2実施形態の第2変形例を示すブロック図である。

【図16】本発明の第2実施形態の第2変形例におけるワークステーションの画面表示例を示す図である。

【図17】本発明の第2実施形態の第2変形例の動作を説明するためのフローチャートである。

20 【図18】本発明の第2実施形態の第2変形例の動作を説明するためのフローチャートである。

【図19】ネットワーク上のパケット転送装置における従来のWFQアルゴリズムによるパケット転送技術を説明するための図である。

【図20】WFQアルゴリズムによるパケット転送処理について説明するための図である。

【図21】(a)、(b)はいずれもネットワーク上のパケット転送装置における従来のWFQアルゴリズムによるパケット転送技術を説明するための図である。

30 【符号の説明】

1 パケット受信部

2 キュー構成部

3, 3-1~3-3, 3B, 3B', 3C パケットスケジューラ

4 パケット送出部

5 ワークステーション

5A~5F 画面

5-1 制御部

5-2 ディスプレイ

40 5-3 入力装置

6 パケット転送装置

21 書き込み/読み出し制御部

22 FIFOメモリ部

22-1~22-n キュー

23 キュー情報通知部

31, 31A, 31B, 31B' キュー選択制御部(キュー制御手段)

31-1, 31A-1, 31B-1 送出予定時刻計算部(送出予定時刻計算手段)

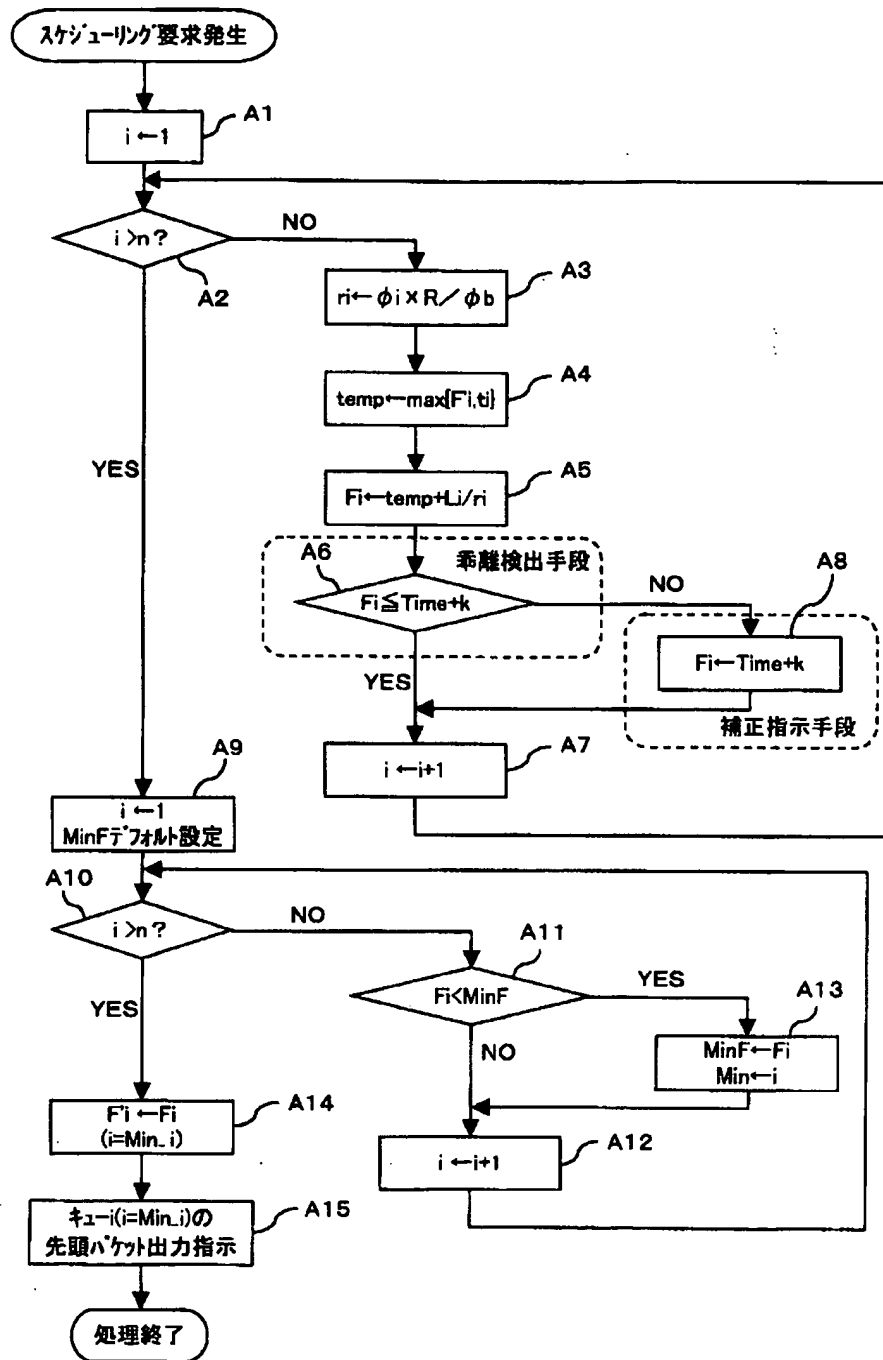
50 31-2, 31B-2, 31B'-2 送出予定時刻比

102 パケットスケジューラ

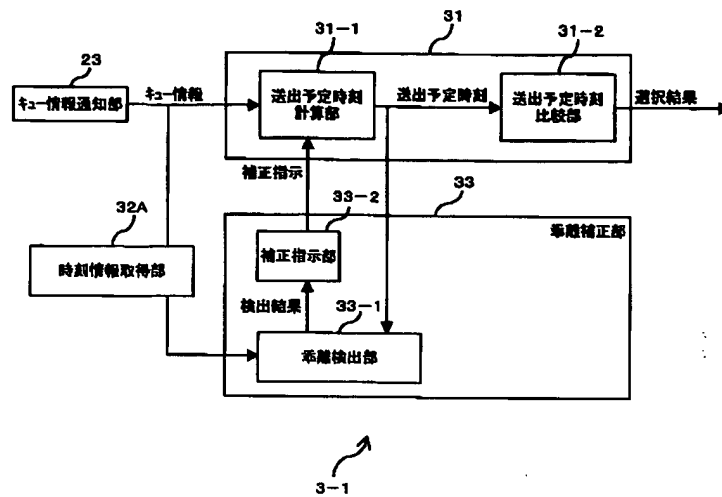
```

graph LR
    1[パケット受信部] -- "パケット" --> 2[キュー構築部]
    2 -- "キュー情報" --> 3C[パケットスケジューラ]
    3C -- "出力優先度  
(キュー番号)" --> 2
    2 -- "パケット" --> 4[パケット送出部]
    4 -- "パケット" --> 3C
    3C -- "スケジューリング  
要求" --> 4
    4 -- "パケット" --> Out[ ]
  
```

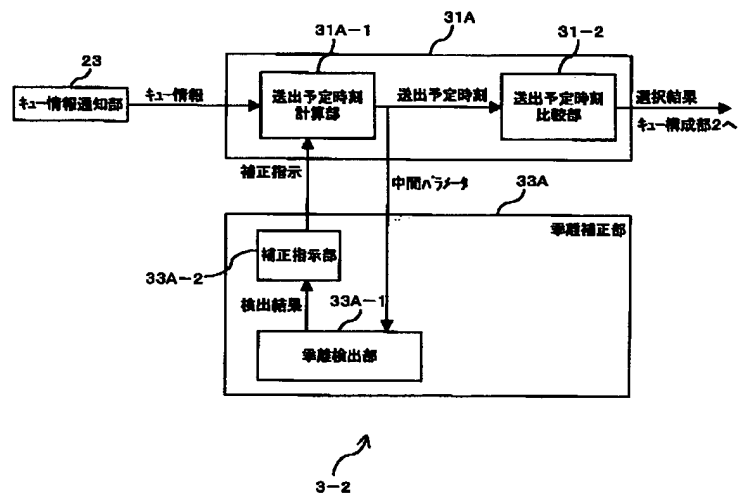
【図 4】



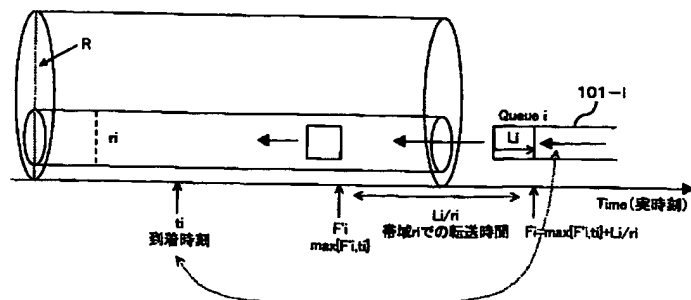
【図5】



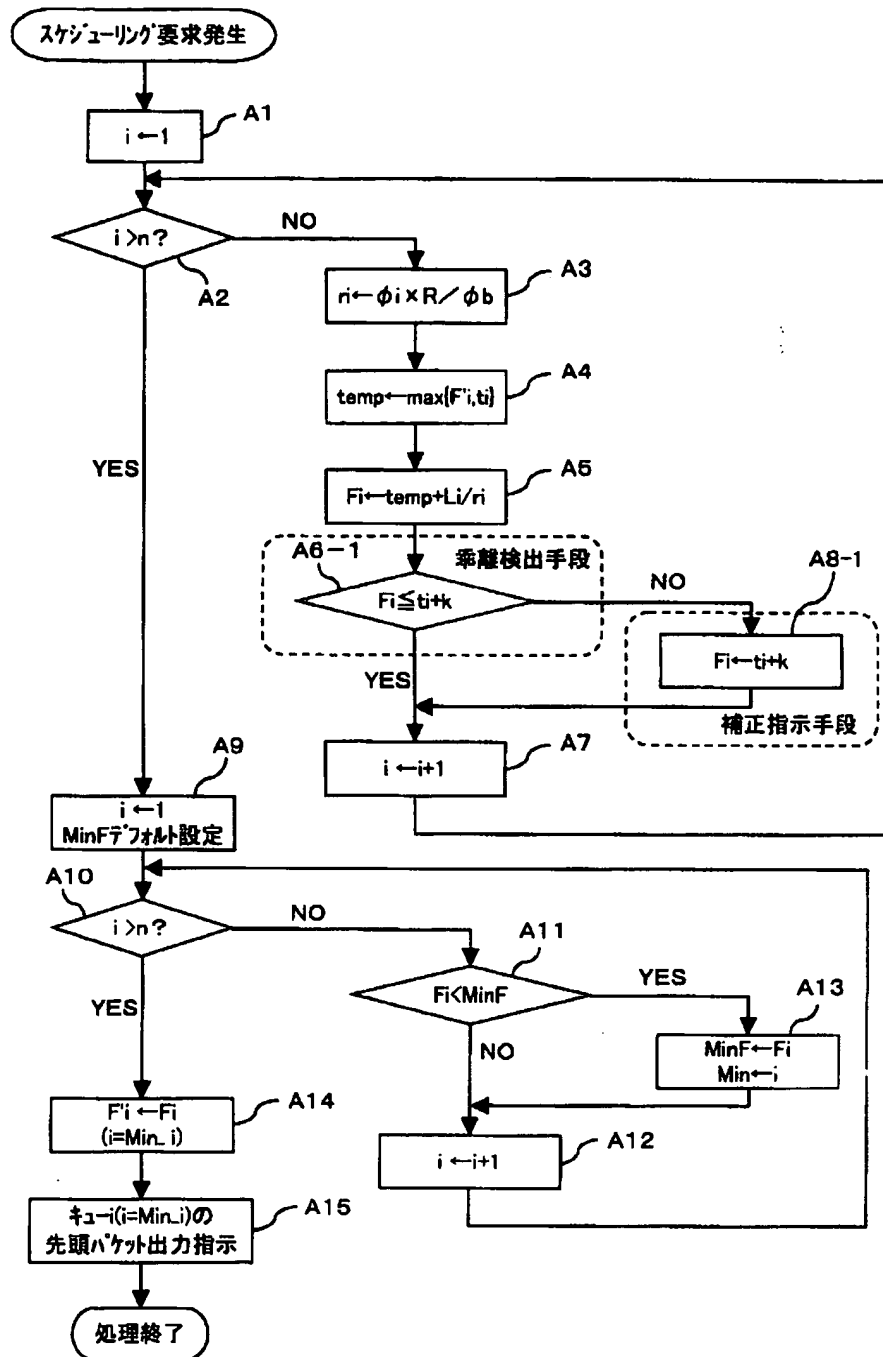
【図7】



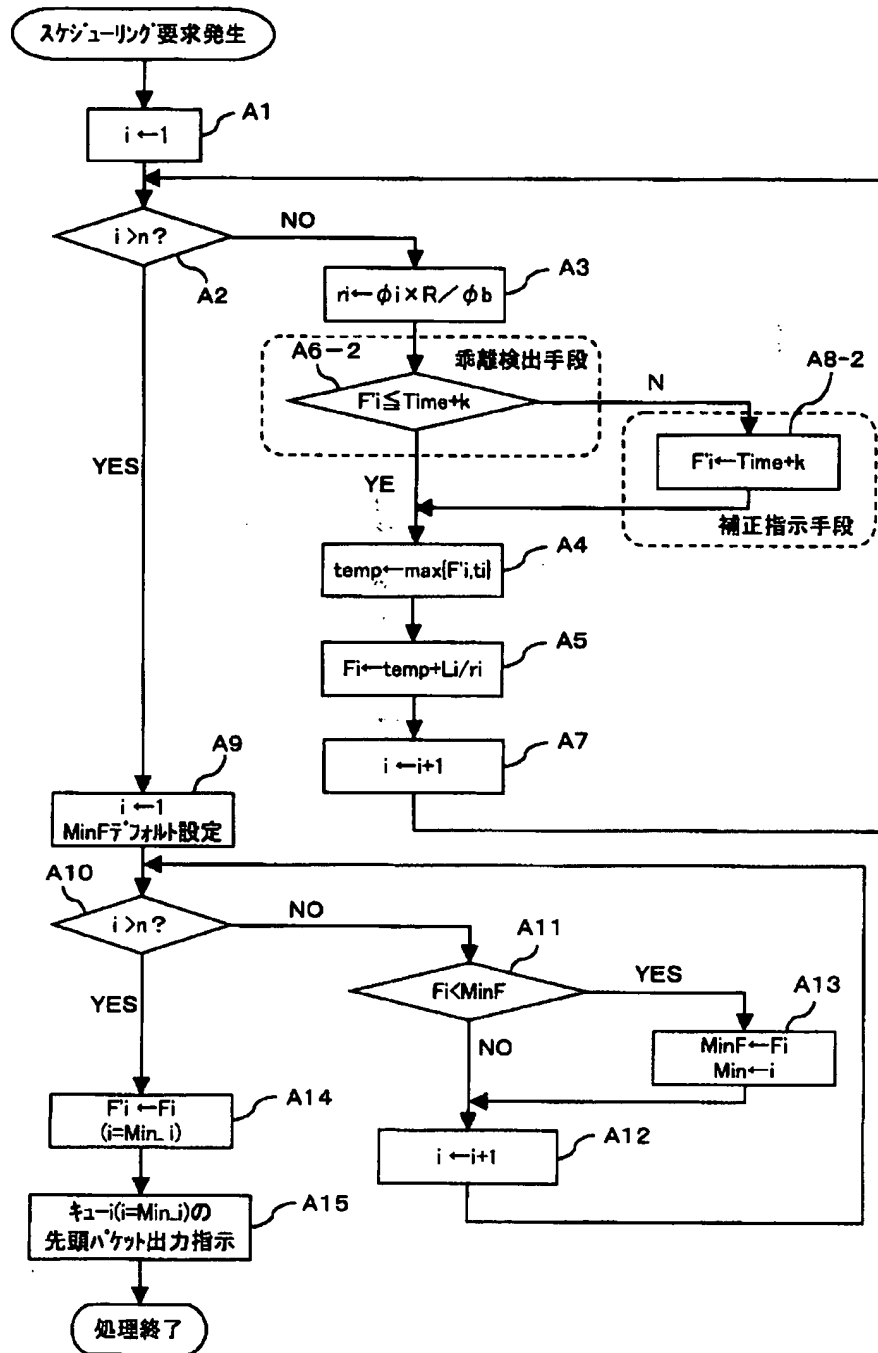
【図20】



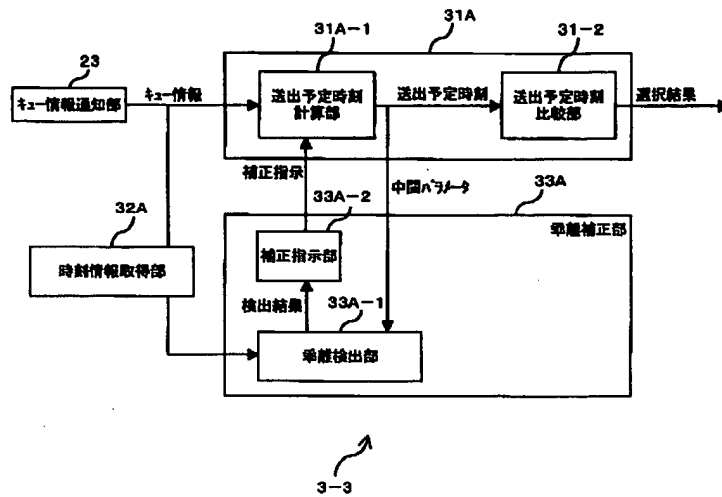
【図6】



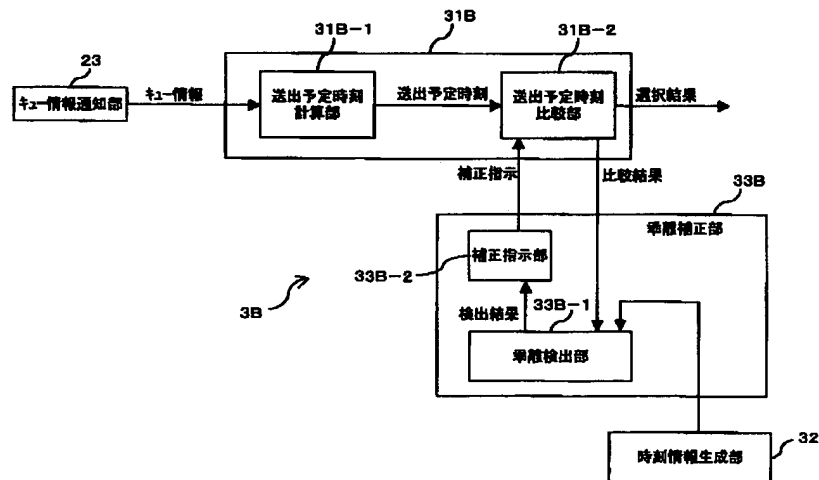
【図 8】



【図9】

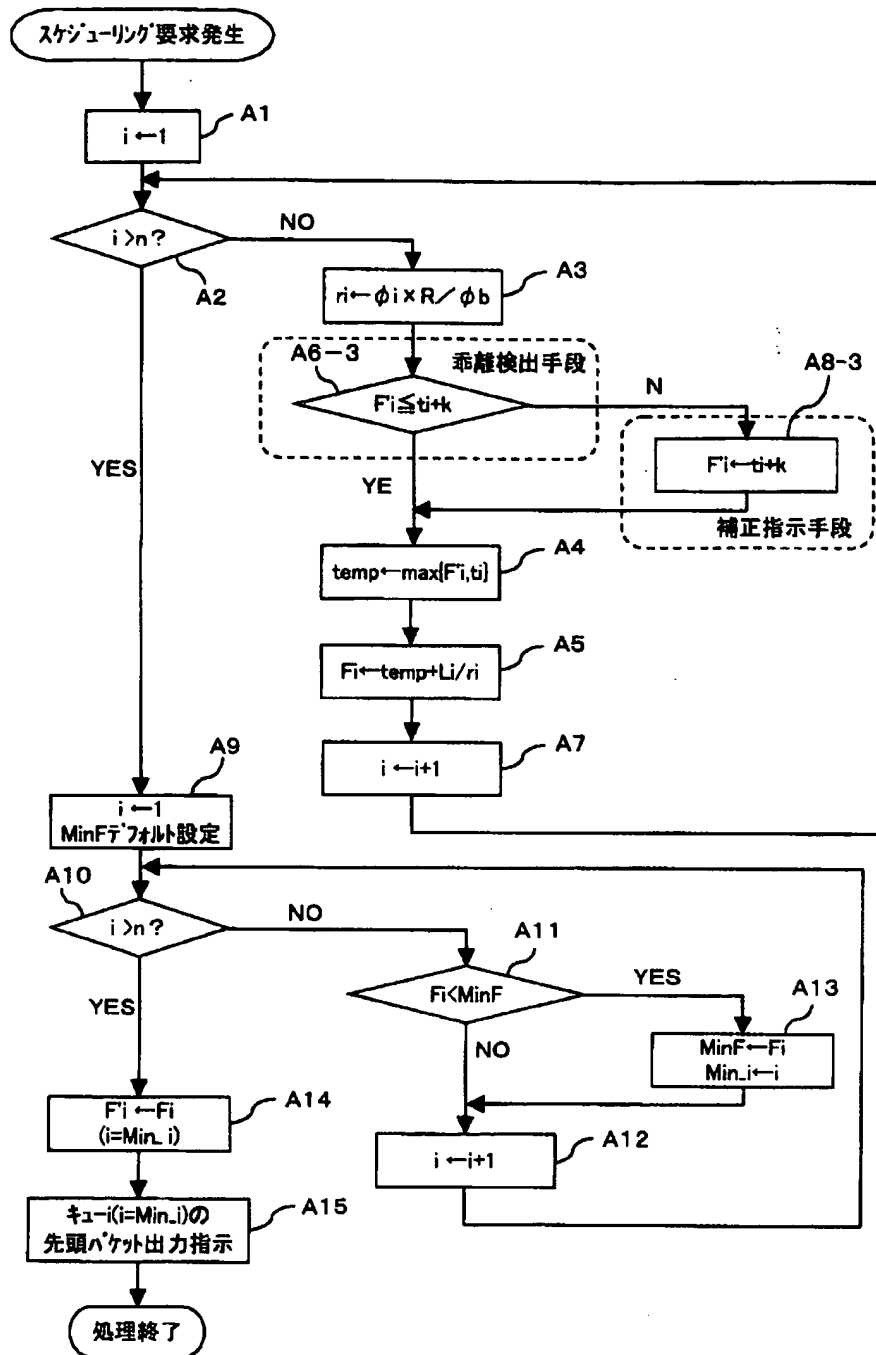


【図11】

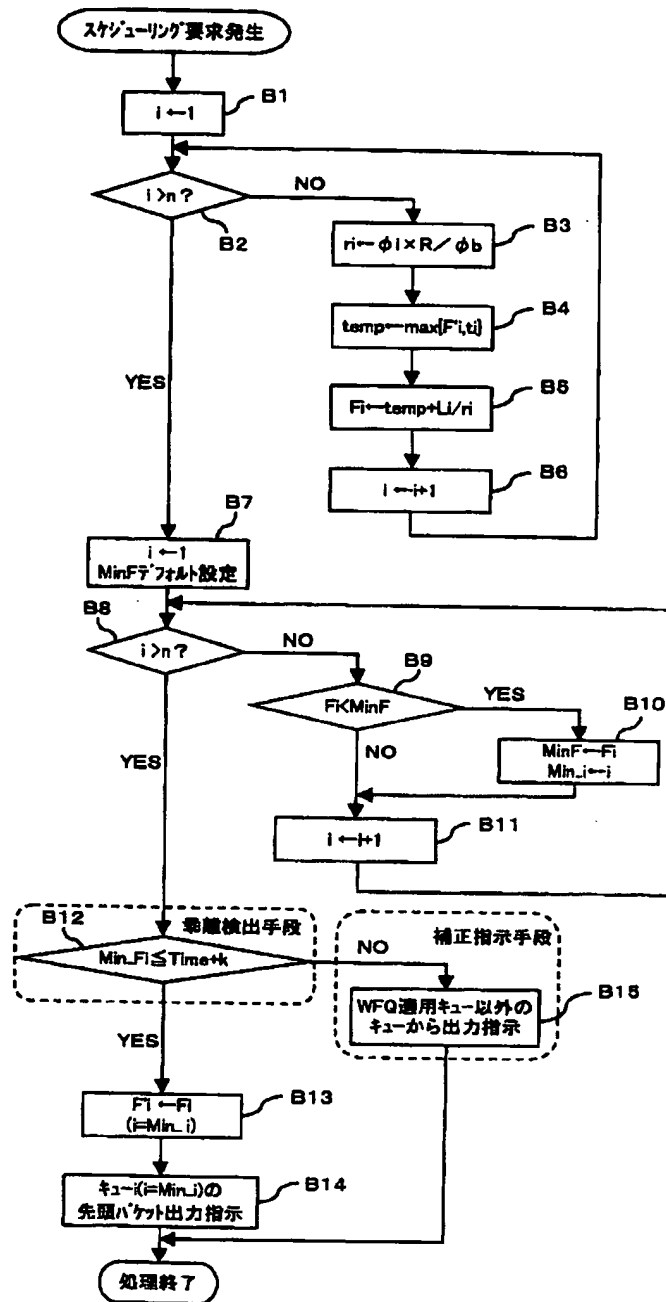




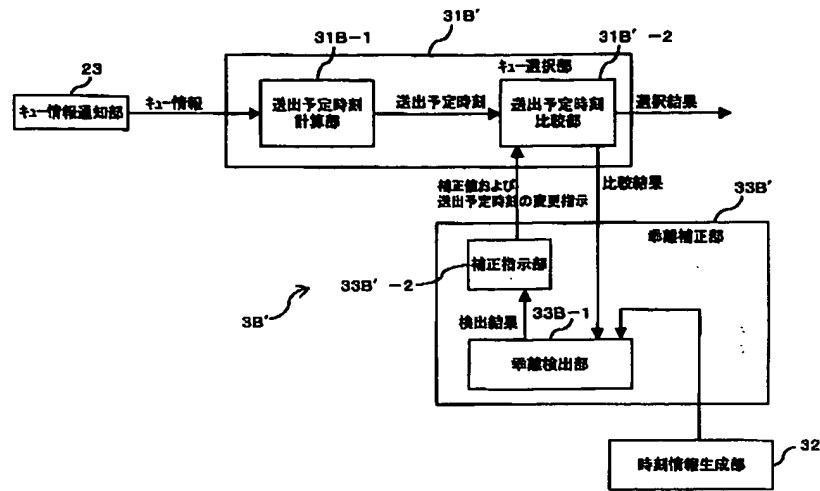
【図10】



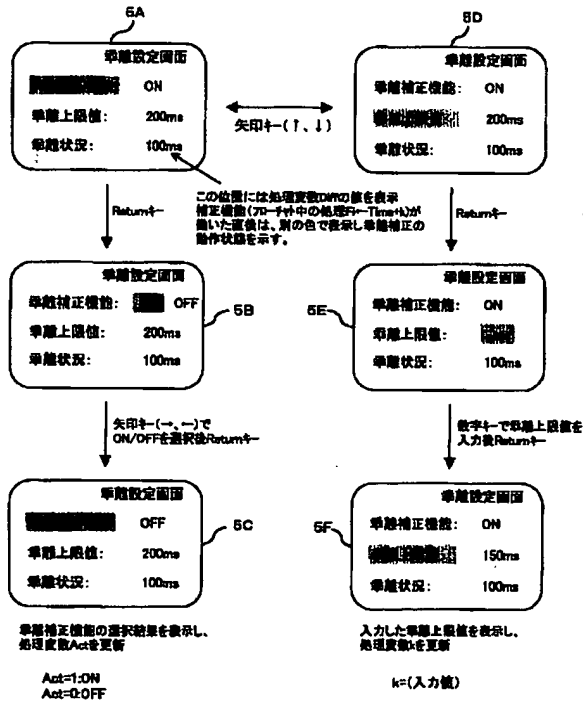
【図12】



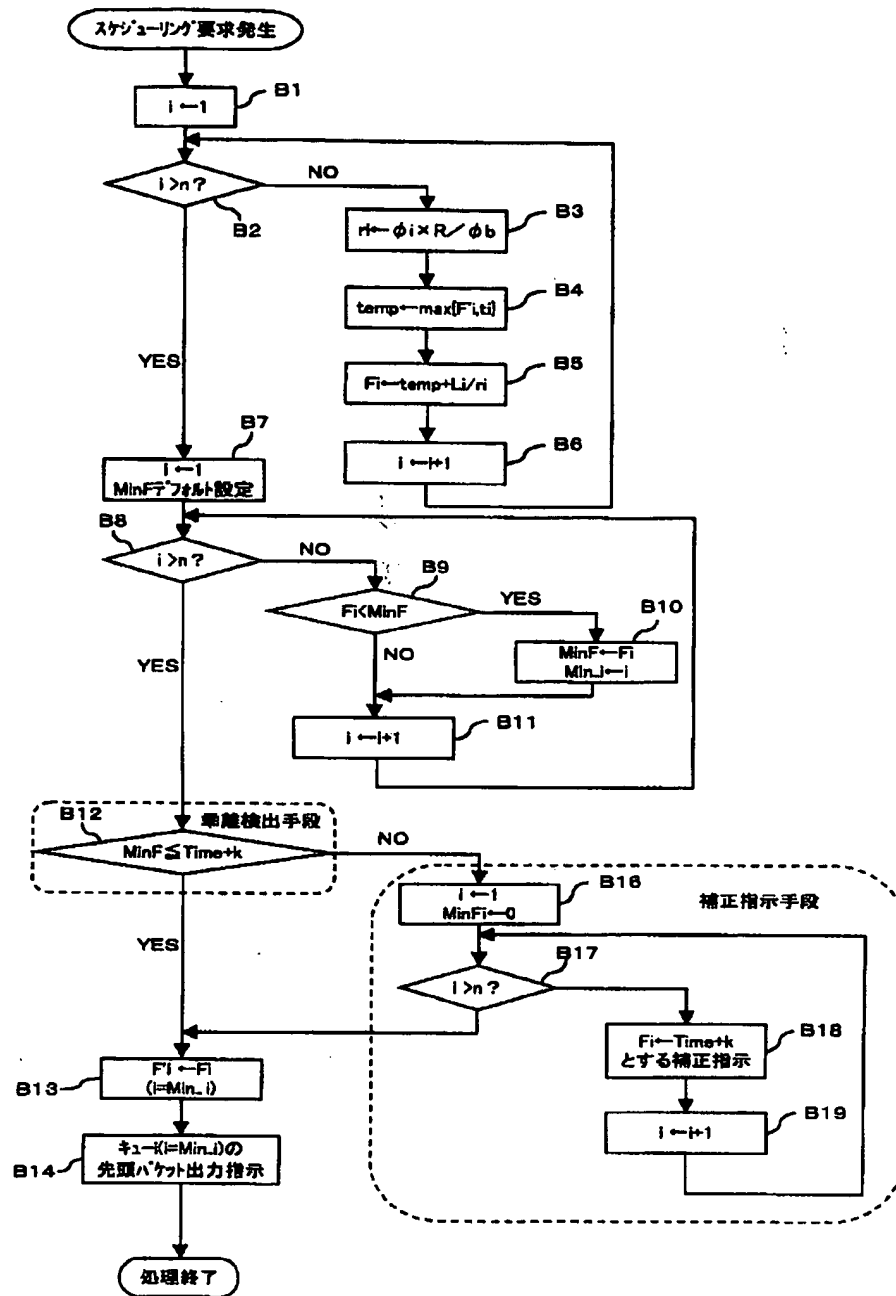
【図13】



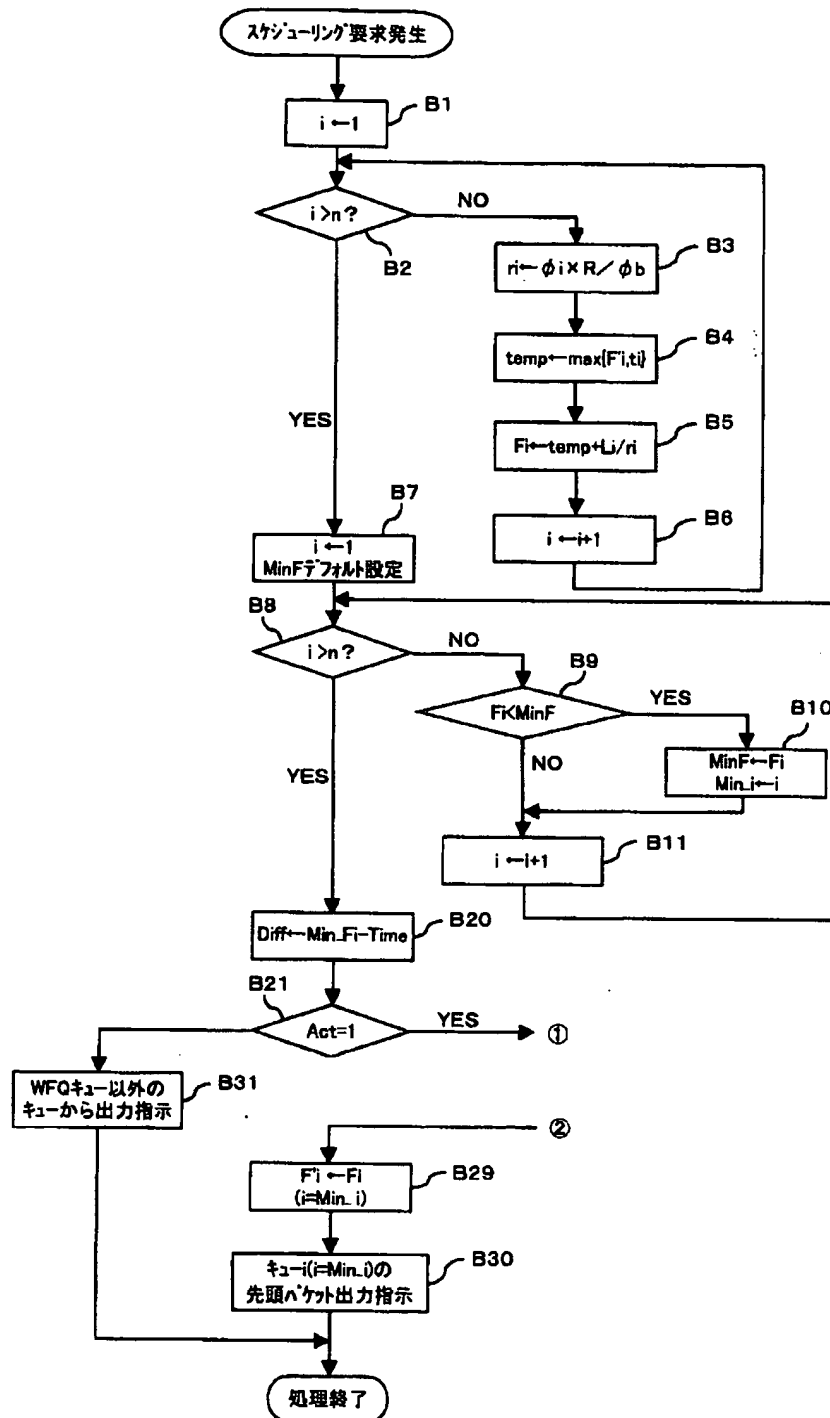
【図16】



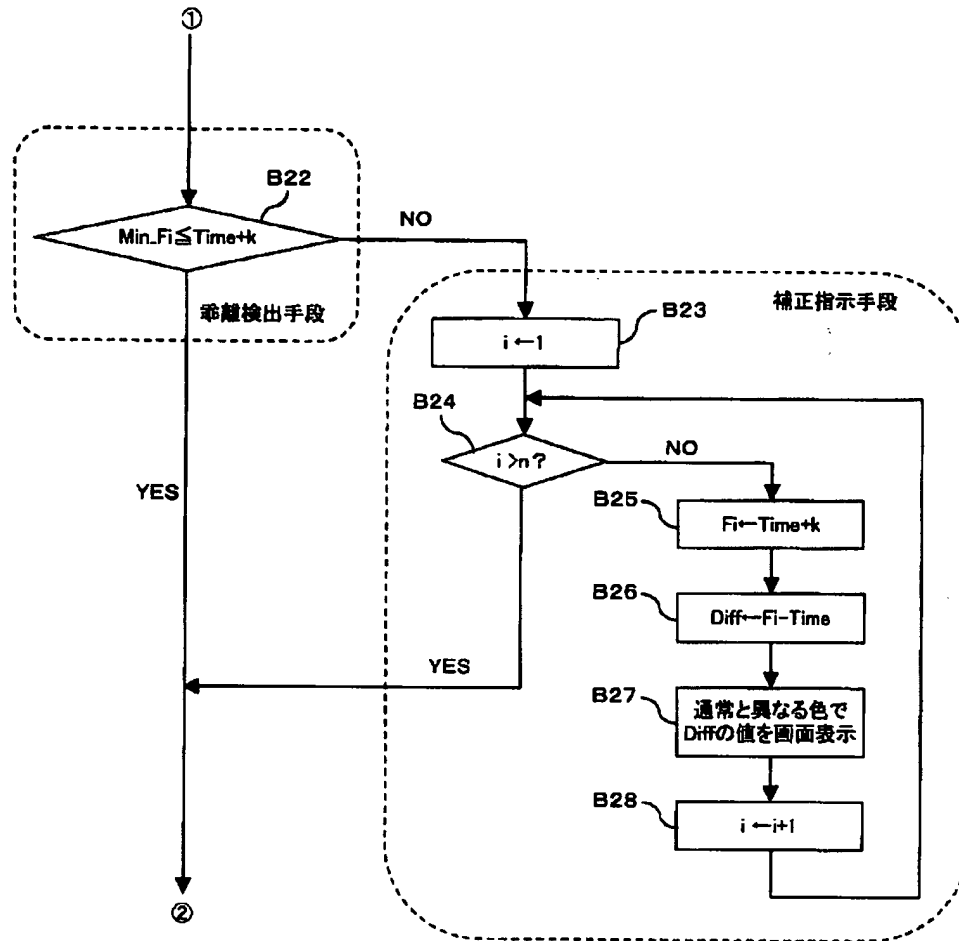
【図14】



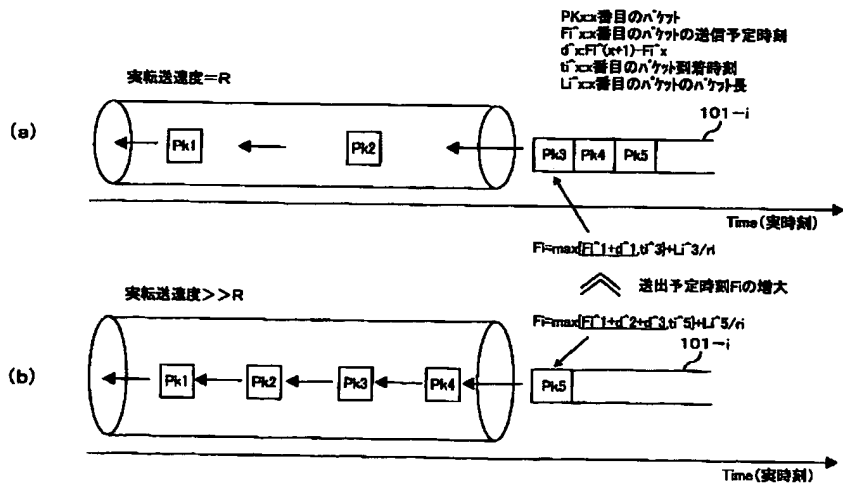
【図17】



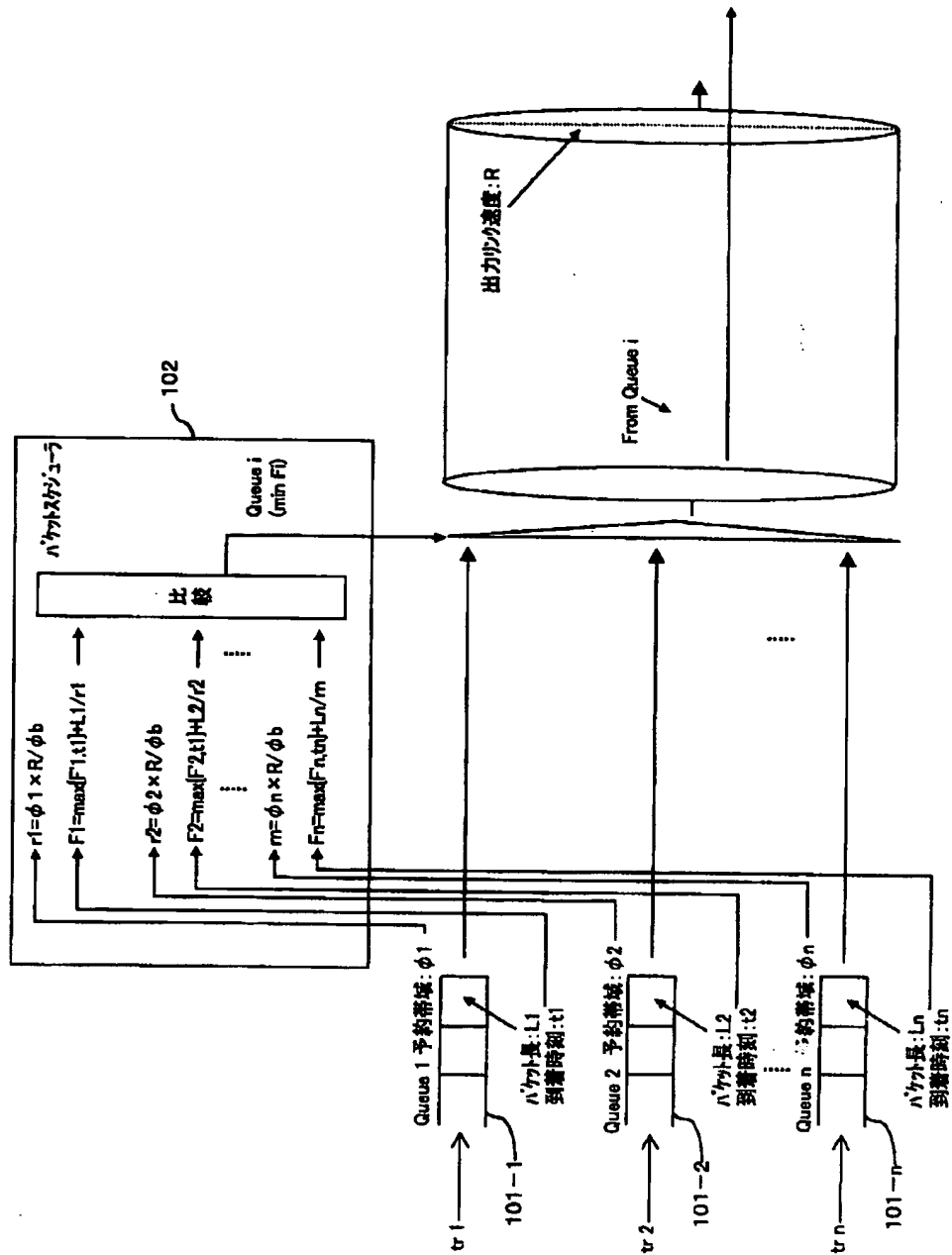
【図18】



【図21】



【図19】



フロントページの続き

Fターム(参考) 5K030 HA08 HB17 KA03 KA21 KX13  
 KX18 LA03 LD18 LE17 MA13  
 MB15

**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning  
Operations and is not part of the Official Record**

**BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ BLACK BORDERS
- ☐ IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- ☐ FADED TEXT OR DRAWING
- ☒ BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING
- ☐ SKEWED/SLANTED IMAGES
- ☐ COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS
- ☐ GRAY SCALE DOCUMENTS
- ☐ LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT
- ☐ REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY
- ☐ OTHER: \_\_\_\_\_

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.**